



КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО · ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

ЭЛЕКТРОННОЕ ДОПОЛНЕНИЕ

УЧРЕДИТЕЛИ:

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

СОДЕРЖАНИЕ

ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОВ

Юдин Г. А., Тюрина С. А., Дальская Г. Ю., Демин В. Л., Сидоров М. В., Нафиков М. И. Исследование влияния термической обработки на микроструктуру сварного шва после аргонодуговой сварки изделия из сплава Inconel 718, полученного методом SLM, и стали 12X18H10T	51
Готлиб Е. М., Соколова А. Г., Твердов И. Д. Синтетический диоксид на основе золы рисовой шелухи и доломита: исследование состава и свойств	62

ИНСТРУМЕНТ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА

Артамонов Е. В., Тверяков А. М., Шгин А. С. Повышение работоспособности режущего инструмента на основе физических характеристик твердых сплавов при токарной обработке стали 12X18H10T	69
--	----

ИСПЫТАНИЯ, ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЬ

Волосова М. А., Метель А. С., Тюрбева Т. Б., Гапонов В. А. Эффективность применения графеносодержащего электролита при микродуговом оксидировании титанового сплава, полученного селективным лазерным плавлением	75
Огурцов В. С. Анализ свойств аналогов фотополимеров для внедрения аддитивных технологий в консервативное производство шестерен гальванического барабана	83
Ковалев И. А., Киселев А. О., Малых Д. А., Ненарокомов М. Д. Использование эффекта Бриллюэна в оптоволоконных сенсорах для мониторинга инженерных конструкций	92

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

Миргалеева И. В., Фролова И. И., Гареева Г. А., Файзуллина А. Г. Разработка инструмента автоматизированного тестирования для повышения качества системы диспетчеризации промышленных процессов	99
Миргалеева И. В., Фролова И. И., Гареева Г. А., Файзуллина А. Г. Система автоматизации управления данными для повышения качества услуг в сфере грузоперевозок	105

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ, МАРКЕТИНГ

Лебедева Н. Е. Механизмы обеспечения технологического суверенитета нефтегазового машиностроения России в условиях санкционных рисков	111
Лебедев Н. А., Зубкова С. В. Роль цифровизации промышленных комплексов в укреплении технологического и цифрового суверенитетов России	119
Завьялова Н. А. Влияние глобальных тенденций художественной культуры на формирование корпоративной идентичности в условиях цифровизации промышленного сектора	126
Морковкин Д. Е. Налоговое стимулирование сырьевого экспорта: эффективность льгот для экспорта высокотехнологичной продукции и услуг с высокой добавленной стоимостью	132
Троянская М. А., Крапчина Л. Н., Болгучева Р. Б., Намитулина А. З., Ажмуратова М. А., Харесова М. Ш., Ниязбекова Ш. У. Налоговая политика предприятий кузнечно-штамповочного производства в условиях модернизации промышленности	141
Имамов М. М., Семенихина Н. Б. Влияние цифровой трансформации на инновационные подходы к стратегическому менеджменту в условиях глобальной экономики	144
Имамов М. М., Семенихина Н. Б. Анализ роли искусственного интеллекта в оптимизации процессов инновационного менеджмента на примере международных корпораций	152
Шихалиева Д. С., Морковкин Д. Е., Михайлов А. Ю., Петрусович Т. В., Алеева Г. И., Ниязбекова Ш. У., Аймакова Г. Т. Организационно-экономический механизм повышения эффективности промышленного производства на основе интеграции цифровых технологий и инновационных методов управления	159
Куровский С. В., Мишин Д. А., Арутюнян О. О. Стратегический менеджмент инноваций: правовые аспекты трансфера технологий в университетах	177
Бармута К. А., Гапоненко Т. В., Медведева Л. С. Рис-ориентированное управление региональными трудовыми ресурсами и занятостью в условиях цифровизации	183

БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ТРУДА

Александрова Н. Н. Оценка деятельности предприятий машиностроения в контексте социально-экономической безопасности	191
--	-----

ПЕРСОНАЛ И КАДРЫ

Завьялова Н. А. Коммуникация кадров на промышленном предприятии в современном социокультурном пространстве как фактор повышения производительности труда	196
Буслаева О. Б. Влияние неформальной занятости на уровень социальной защиты и экономическое положение работников сельского хозяйства	202

ЭКОЛОГИЯ

Моттаева А. Б., Фокина О. В., Пряжко И. П. Экологические аспекты стратегии развития предприятий металлургической промышленности	209
Масалева М. В., Набуллина В. Р. Правовые аспекты управления экологическими рисками промышленных предприятий в рамках международных стандартов и национального законодательства	220

РЕМОНТ, МОДЕРНИЗАЦИЯ, РЕНОВАЦИЯ

Сергеев А. С. Композитный корпус ролика ленточного конвейера на основе PA6 GF30: конструктивные особенности, технологичность и эксплуатационная надежность	232
--	-----

ОБЗОР

Полоччук Р. А. Производство углеволоконных материалов в КНР	237
Прыгунова М. Н., Тумаков И. К. Опыт регионов в создании экосистемы технологического предпринимательства	241
Клоницкая А. Ю., Косенкова Ю. Ю. Налоговые риски малого бизнеса в современной экономике: проблемы и направления нивелирования	248
Мехренцев А. В., Кручинин И. Н., Часовских В. П., Стариков Е. Н. Транспортное обеспечение предприятий лесного комплекса в условиях реализации природоподобных технологий на примере Свердловской области	255

ОБСУЖДЕНИЕ

Борулько В. Г., Масалева М. В., Минкин А. Н., Романова Г. М. Методология оценки социально-экономических последствий климатических изменений для сельскохозяйственных регионов с высокой уязвимостью экосистем	263
---	-----

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,
А. Т. Крук,
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. Себюнов,
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»)



FORGING AND STAMPING PRODUCTION | MATERIAL WORKING BY PRESSURE

ISSUED MONTHLY

FOUNDERIES:

Public Company «AutoVAZ»; Moscow State Technological University «Stankin»;
Public Company «Tyazhmekhpess»; «KSHP OMD» Ltd

CONTENTS

MICROSTRUCTURE FEATURES OF MATERIALS

- Yudin G. A., Tyrina S. A., Dalskaya G. Yu., Demin V. L., Sidorov M. V., Nafikov M. I. Investigation of the effect of heat treatment on the microstructure of a weld after argon arc welding of a product made of inconel 718 alloy obtained by slm and 12Kh18N10T steel 51
- Gotlib E. M., Sokolova A. G., Tverdok I. D. Synthetic diopside on the base of rice husk ash and dolomite: the study of composition and properties 62

TOOL AND TECHNOLOGICAL RIGGING

- Artamonov E. V., Tveryakov A. M., Shtin A. S. Diagnostics of resistance and machined surface quality characteristics during turning of 12X18N10T steel 69

TESTS, MEASUREMENTS, CONTROL

- Volosova M. A., Metel A. S., Tyurbueva T. B., Gaponov V. A. Effectiveness of using graphene-containing electrolyte in microarc oxidation titanium alloy manufactured by selective laser melting 75
- Ogurtsov V. S. Analysis of the properties of photopolymer analogues for the introduction of additive technologies in the conservative production of galvanic barrel plating 83
- Kovalev I. A., Kiselev A. O., Malykh D. A., Nenarokomov M. D. Using the Brillouin effect in fiber optic sensors for monitoring engineering structures 92

PRODUCTION CONTROL AUTOMATION

- Mirgaleeva I. V., Frolova I. I., Gareeva G. A., Faizullina A. G. Development of an automated testing tool to improve the quality of an industrial process dispatch system 99
- Mirgaleeva I. V., Frolova I. I., Gareeva G. A., Faizullina A. G. Automated data management system for improving the quality of freight transportation services 105

ECONOMY, MANAGEMENT, MARKETING

- Lebedeva N. E. Mechanisms for ensuring Russia's technological sovereignty in oil and gas engineering industry in the face of sanctions risks 111
- Lebedev N. A., Zubkova S. V. The role of digitalization of industrial complexes in strengthening Russia's technological and digital sovereignty 119
- Zavyalova N. A. The influence of global artistic culture trends on the formation of corporate identity in the context of industrial sector digitalization 126
- Morkovkin D. E. Tax incentives for non-resource exports: the effectiveness of incentives for exports of high-tech products and services with high added value 132
- Troyanskaya M. A., Bolgucheva R. B., Namitulina A. Z., Azhuratova M. A., Kharesova M. Sh., Niyazbekova Sh. U. Tax policy of forging and stamping enterprises in the context of industrial modernization 141
- Imamov M. M., Semenikhina N. B. The impact of digital transformation on innovative approaches to strategic management in the context of the global economy 144
- Imamov M. M., Semenikhina N. B. Analysis of the role of artificial intelligence in optimizing innovation management processes: the case of international corporations 152
- Shikhaliyeva D. S., Morkovkin D. E., Mikhaylov A. U., Petrusevich T. V., Aleeva G. I., Niyazbekova Sh. U., Aimakova G. T. Organizational and economic mechanism for increasing the efficiency of industrial production based on the integration of digital technologies and innovative management methods 159
- Kurovsky S. V., Mishin D. A., Arutyunyan O. O. Strategic innovation management: legal aspects of technology transfer at universities 177
- Barmuta K. A., Gaponenko T. V., Medvedeva L. S. Risk-based management of regional labor resources and employment in the context of digitalization 183

SAFETY AND LABOR PROTECTION

- Aleksandrova N. N. Assessing the performance of mechanical engineering enterprises in the context of socioeconomic security 191

PERSONNEL AND STAFF

- Zavyalova N. A. Communication of personnel in an industrial enterprise within the modern socio-cultural space as a factor of increasing labor productivity 196
- Buslaeva O. B. The impact of informal employment on the level of social protection and economic situation of agricultural workers 202

ECOLOGY

- Mottaeva A. B., Fokina O. V., Pryadko I. P. Environmental aspects of the development strategy of metallurgical industry enterprises 209
- Masaleva M. V., Nabiullina V. R. Legal aspects of environmental risk management in industrial enterprises within the framework of international standards and national legislation 220

REPAIR, MODERNIZATION, RENOVATION

- Sergeev A. S. Composite housing of a belt conveyor roller based on PA6 GF30: design features, technological efficiency and operational reliability 232

REVIEW

- Polonchuk R. A. Carbon fiber production in China 237
- Prigunova M. I., Tumakov I. K. Regional experience in creating a technological entrepreneurship ecosystem 241
- Klonitskaya A. Yu., Kosenkova Yu. Yu. Tax risks of small businesses in the modern economy: problems and ways to mitigate them 248
- Mekhrentsev A. V., Kruchinin I. N., Chasovskikh V. P., Starikov E. N. Transport support for enterprises of the forestry complex in the context of the implementation of nature-like technologies on the example of the Sverdlovsk region 255

DISCUSSION

- Borulov V. G., Masaleva M. V., Minkin A. N., Romanova G. M. Methodology for assessing the socio-economic impacts of climate change for agricultural regions with high ecosystem vulnerability 263

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,
A. T. Krouk,
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. Sosenshkin,
S. A. Stebounov,
A. I. Steshin,
V. A. Tyurin,
F. Z. Utyashev,
V. G. Shibakov,
V. Yu. Sholom

Editorial staff:

«KSHPOMD» Ltd

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

ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОВ

УДК 621.74

Г. А. ЮДИН, С. А. ТЮРИНА, Г. Ю. ДАЛЬСКАЯ (РТУ МИРЭА, г. Москва); В. Л. ДЕМИН (ИФХЭ РАН, г. Москва); М. В. СИДОРОВ, М. И. НАФИКОВ (Центр аэрокосмических материалов и технологий института № 14 ПИШ МАИ, г. Москва)

E-mail:

G. A. Yudin, S. A. Tyrina, G. Yu. Dalskaya (MIREA – Russian Technological University, Moscow); V. L. Demin (IPCE RAS, Moscow); M. V. Sidorov, M. I. Nafikov (Center of Aerospace Materials and Technologies of the Institute No 14 PISH MAI, Moscow)

Исследование влияния термической обработки на микроструктуру сварного шва после аргонодуговой сварки изделия из сплава Inconel 718, полученного методом SLM, и стали 12X18H10T

Investigation of the effect of heat treatment on the microstructure of a weld after argon arc welding of a product made of inconel 718 alloy obtained by slm and 12Kh18N10T steel

В качестве объекта исследований выбрана трубчатая конструкция, состоящая из трубы из стали 12X18H10T, произведенная по традиционной технологии и трубчатой конструкции из Inconel 718, созданная по технологии SLM, соединенных аргонодуговой сваркой. Изучается фазовый состав и микроструктура сварного шва и околошовной зоны. Дополнительно изделие подвергается постобработке с использованием ТО по определенному режиму для увеличения размера зерен, получения более равноосной микроструктуры, растворения вредных фаз, таких как фазы Лавеса, для образования упрочняющих выделений, таких интерметаллидных фаз как γ' ($\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti}, \text{Nb})$), имеющих гранецентрированную кубическую решетку и γ'' (Ni_3Nb) с объемно-центрированной тетрагональной решеткой, а также для удаления дефектов, в виде поверхностных и внутренних пор, образовавшихся в процессе используемой SLM технологии, для улучшения механических свойств. Исследования по анализу влияния термообработки на микроструктуру образцов комбинированной детали с использованием ОМ и СЕМ выявляют изменения в поверхности и объеме образцов, уменьшение пор и увеличение содержания элементов, способствующих укреплению изделия.

As an object of research, a tubular structure consisting of a pipe made of 12Kh18N10T steel produced using traditional technology and a tubular structure made of Inconel 718, created using SLM technology, connected by argon arc welding, is chosen. This paper examines the phase composition and microstructure of the weld seam and the weld zone. Additionally, the product is subjected to post-processing using maintenance according to the special mode, to increase the grain size, obtain a more equiaxed microstructure, dissolve harmful phases, such as Laves phases, for the formation of strengthening precipitates, such intermetallic phases as γ' ($\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti}, \text{Nb})$), having a face-centered cubic lattice and a γ'' (Ni_3Nb) with a volume-centered tetragonal lattice, as well as for the removal of defects in the form of surface and internal pores formed during the SLM technology used to improve mechanical properties. Studies analyzing the effect of heat treatment on the microstructure of samples of a combined part using OM and SEM revealed changes in the surface and volume of samples, a decrease in pores and an increase in the content of elements that contribute to the strengthening of the product.

Ключевые слова: фазовый состав; микроструктура; сварной шов; околошовная зона; аргонодуговая сварка; сплав Inconel 718; технологии SLM; фазы Лавеса; интерметаллидные фазы.

Keywords: phase composition; microstructure; weld; near-weld zone; argon arc welding; Inconel 718 alloy; SLM technologies; Laves phases; intermetallic phases.

Инконель-сплавы – это семейство суперсплавов на основе никеля, известное своей исключительной устойчивостью к высоким температурам, коррозии и окислению. Среди этих сплавов выделяется сплав *Inconel 718*, являющийся идеальным материалом для экстремальных условий, где требуется высокая прочность, устойчивость к высоким температурам и коррозии. Независимо от отрасли данный сплав обеспечивает надежность и долговечность конструкций. Его высокая прочность позволяет сократить вес деталей, что особенно важно для авиационной (АП) и космической промышленностей, где каждый грамм имеет значение. Устойчивость к высоким температурам позволяет использовать материал в условиях высоких нагрузок, например, в горячих секциях двигателей. Кроме того, коррозионная стойкость *Inconel 718* обеспечивает защиту от агрессивных сред, что повышает надежность и продолжительность эксплуатации конструкций в условиях нефтегазовой и морской промышленности.

Технология *SLM* (*selective laser melting*) имеет широкое применение в различных областях, в т. ч. аэрокосмической отрасли. Процесс 3D-печати по данной технологии заключается в избирательном сплавлении предварительно нанесенного тонкого слоя порошкового материала, с использованием в качестве источника внешней энергии лазерного луча. Быстрое расплавление под действием лазерного луча, перемещаемого с высокой скоростью и последующее быстрое затвердевание металлического порошка в слое с кратковременным неравновесным переходом фаз, способствуют формированию высокодисперсной микроструктуры, приводя к существенным различиям в механических свойствах изделий, изготовленных традиционными методами и технологией *SLM*.

Технологический недостаток изучаемого сплава – свариваемость с наблюдаемым ликвационным растрескиванием и проблемой растрескивания металла сварного соединения [1, 2]. Микротрещины и растрескивание в зоне плавления являются серьезными дефектами сварных соединений *Inconel 718*. Фаза

Лавеса является основной причиной ликвационного растрескивания, ее образование зависит от исходного размера зерна и состава основного металла. Она присутствует как сварным швам, так и напечатанным изделиям. Устранить фазы Лавеса можно термообработкой.

Результаты исследований и их обсуждение

В качестве объекта исследования выступают образцы, полученные из изделия, представленного на рис. 1. Изделие состоит из двух частей, соединенных аргонодуговой сваркой с использованием присадочной проволоки *Inconel 718*.



Рис. 1. Исходное изделие:
1 – сталь 12Х18Н10Т, произведенная по традиционной технологии; 2 – *Inconel 718*, созданный по технологии *SLM*; 3 – исследуемая зона сварного соединения

Химические составы используемых сплавов представлены в табл. 1. Видно, что представленные химические составы *Inconel 718* и присадочного сплава *Inconel 718* отличаются тем, что в присадочной проволоке присутствует легирующая добавка в виде смеси Nb+Ta.

Шлифы изготавливаются по стандартной технологии с использованием суспензий SiC и алмаза, для выявления микроструктуры использовались реактивы HNO₃ 3 %-спирт, HNO₃ (65–68 % масс.) + HCl (32–35 % масс.).

Учитывая микроструктурную анизотропию и дефекты, возникающие как в процессе изготовления, так и дуговой сварки, для улучшения свойств большинства изделий *LPBF* из *Inconel 718* необходима постобработка [3]. Целью постобработки является

Таблица 1

Химические составы

Inconel 718														
Ni	Cr	Mo	Nb	Co	Mn	Cu	Al	Ti	Si	C	S	P	B	Fe
55	17–21	2,8–3,3	4,75–5,5	< 1	< 0,34	0,2–0,8	0,65–1,15	0,3	< 0,35	< 0,08	< 0,015	< 0,015	< 0,006	Ост.
12X18H10T														
C	Si	Mn	P		S		Cr	Mo	Ni	V	Ti	Cu	W	Fe
< 0,12	< 0,8	< 2	< 0,035		< 0,02		17–19	< 0,5	9–11	< 0,2	< 0,8	< 0,4	< 0,2	Ост.
присадочная проволока Inconel 718														
Ni	Cr	Mo	Nb+Ta	Co	Mn	Cu	Al	Ti	Si	C	S	P	B	Fe
50–55	17–21	2,8–3,3	4,75–5,50	< 1	< 0,35	< 0,3	0,2–0,80	0,65–1,15	< 0,35	< 0,08	< 0,015	< 0,015	< 0,006	Ост.

улучшение формы и целостности объема и поверхности детали для повышения эксплуатационных характеристик, а также снятия внутренних напряжений в околосварной зоне и сварном шве. Один из этапов постобработки – термообработка (ТО), которая является основным методом управления фазового состава сплава. Хотя целью всех процессов АП является создание изделия в течение одного этапа, неизбежно, что при очевидных недостатках необходимо принимать дополнительные меры.

В промышленности почти все функциональные детали АП в критически важных приложениях подвергаются постобработке с использованием ТО. ТО позволяет изменять микроструктуру путем контролируемого нагрева и охлаждения материалов. Изменяя микроструктуру, материалы могут получать улучшенные механические свойства. Действительно, эксплуатационные характеристики изготовленного материала низки из-за дефектов целостности поверхности и неблагоприятного формирования микроструктуры со вторичными фазами, такими как фазы Лавеса, которые охрупчивают границы зерен и отрицательно сказываются на механических свойствах. Следовательно, ТО используется для увеличения размера зерен, получения более равноосной микроструктуры, растворения вредных фаз, таких как Лавеса [5], для образования упрочняющих выделений, таких интерметаллидных фаз как γ' ($\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti}, \text{Nb})$), имеющих гранецентрированную кубическую решетку и γ'' (Ni_3Nb) с объемно-центрированной тетрагональной решеткой, а также для удаления дефектов для улучшения механических свойств [8, 9].

Согласно задачам по исследованию влияния термической обработки на микроструктуру изделия, в частности сварного шва, выбирается режим термообработки образца: диффузионный отжиг минимум 1 ч 940–1000 °С с охлаждением на воздухе и упрочнение, 8 ч при 720–760 °С, 2 ч охлаждения в печи до 620–650 °С и через 8 ч выдержки охлаждение на

воздухе (см. рис. 2). По мнению авторов, такой вид ТО позволяет получить мелкозернистую структуру, обладающую лучшими комбинациями предела прочности, ударной вязкости и вязкости при ползучести и разрывах, а также прочности на разрыв, предела текучести и предела усталостной прочности при комнатной температуре.

После ТО проведены исследования поверхности *Inconel 718* для первичного оценивания ее влияния. На рис. 3 видны изменения, выражающиеся в сглаживании и снижении шероховатости напечатанной части. Также заметно снижение количества и уменьшение поверхностных пор, присущих методу печати *SLM*, чье образование связано с отсутствием слияния частиц порошка из-за нестабильности ванны расплава в связи с капиллярными силами.

Для исследования микроструктуры используется оптическая микроскопия (ОМ) и сканирующая электронная микроскопия (SEM). Пористость в образцах *SLM* является, как правило, «первым показателем» для исследования (см. рис. 4).

На рис. 5 сравниваются характеристики двух исследуемых образцов. Форма и размер ванн расплава отчетливо видны и легко распознаются на ОМ. Исходя из исследований, можно утверждать, что базовое влияние на ванны расплава идет от мощности лазера, так меньшая мощность создает меньшие ванны, также уменьшая толщину нижележащих слоев. В сочетании с быстрым затвердеванием, присущим процессу печати, это приводит к уменьшению размера зерен. Увеличение мощности лазера негативно сказывается на целостности микроструктуры, приводя к увеличению образования пор и вызывая нестабильность. Также указывается, что объемная плотность энергии лазера выступает основным параметром, оказывающим влияние на возникновение пористости и растрескивание. Таким образом, минимальное растрескивание при затвердевании наблюдается у узких ванн расплава с сильным перекрытием друг друга.

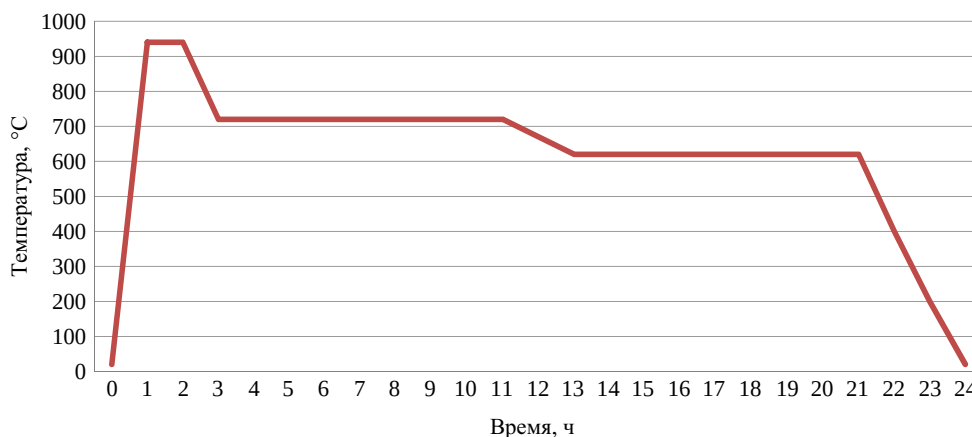


Рис. 2. Режим ТО образца



а)



б)

Рис. 3. Поверхность Inconel 718:

а – исходный образец; б – образец после ТО, $\times 50$

**Рис. 4. Оптическая микрофотография образца, $\times 50$**

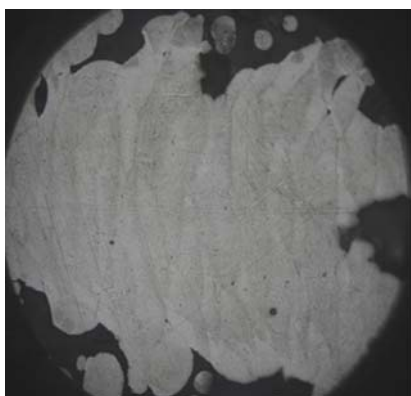
Исходя из снимков микроструктур, видно существенное изменение формы ванн расплава, оказанное термообработкой. Изначально вытянутые поперек направления построения ванны, кардинально меняют форму и становятся вытянутыми вдоль данного направления, однако большинство теряют свою форму. В результате наблюдается преобладанием неспецифических границ зерен. В образцах АП заметно преобладание данных границ, ТО способствует увеличению их количества. Данный класс границ способен повышать прочность материала и устойчивость к межкристаллитному разрушению.

Изменения микроструктуры заметны и в области стали 12Х18Н10Т (см. рис. 6). Микроструктура ис-

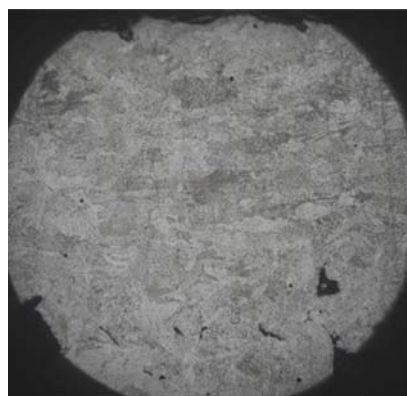
ходного образца состоит из матрицы, представленной аустенитом с двойниками отжига, вытянутых включений δ -феррита, малочисленной σ -фазы и частиц, являющихся карбидами. Термообработанный образец утрачивает аустенитную матрицу, ставшую ферритом в результате полиморфного превращения, поскольку также происходит выделение из 45 твердого раствора цементита (избыточный С), то наблюдается возникновение перлита. Заметно значительное удлинение включений δ -феррита и снижение количества σ -фазы. Содержание карбидов уменьшается.

На рис. 7 представлена микроструктура, наблюдаемая в сварном шве образцов. Наблюдается слоистая структура перехода от основного металла к металлу шва. Зона термического влияния исходного образца, рис. 7 ярко выражена ферритом. В термообработанном образце зона термического влияния представляет собой тонкую линию из мелкозернистого аустенита, феррита и карбидов в виде отдельных частиц, рис. 9.

Желтые стрелки, представленные на рис. 8, показывают направление роста дендритов. Они не



а)



б)

Рис. 5. Оптическая микрофотография образцов Inconel 718 (SLM):

а – исходный образец; б – термообработанный образец, $\times 200$

имеют предпочтительного направления. Мелкие равноосные зерна можно распознать на дорожке в перекрывающихся областях между дорожками. Эти

микроструктурные различия в двух направлениях ответственны за механическую анизотропию компонентов жаропрочных сплавов на основе никеля.



а)



б)



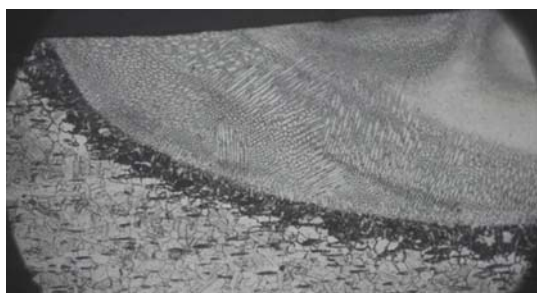
в)



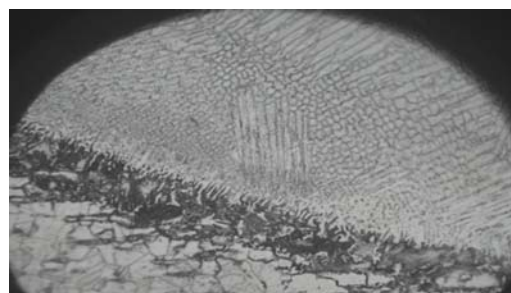
г)

Рис. 6. Оптическая микрофотография образцов 12X18H10Т:

а, б – исходный образец, увеличения $\times 200$; $\times 500$; в, г – образец после ТО, увеличения $\times 200$, $\times 500$, соответственно



а)



б)



в)



г)

Рис. 7. Микрофотографии сварных швов:

а, б – исходный образец, увеличения $\times 200$; $\times 500$; в, г – образец после ТО, увеличения $\times 200$, $\times 500$, соответственно

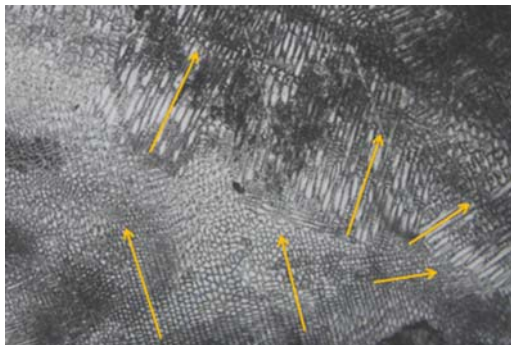


Рис. 8. Изображение исследуемых зон образца, подвергнутого ТО

Рост дендритов по обе стороны границ раздела дорожек не показывает какого-либо предпочтительного направления. Исследование показывает, что новообразованные кристаллы вырастают в ячеистые дендриты в направлении, которое либо параллельно первоначальному направлению, либо повернуто на 90°. Это позволяет зернам проникать из одного слоя в другой.

Для изучения влияния ТО на микроструктуру, топографию поверхности материала, структуру зерен, образование фаз и включений проводятся исследования с использованием сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и рентгеноспектрального микроанализа (РСМА). Фактически, попеременные циклы нагрева и охлаждения, образующиеся при ТО

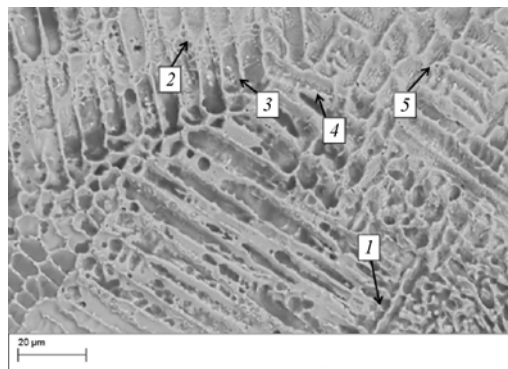
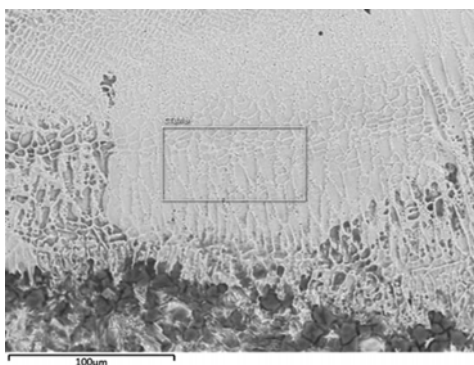


Рис. 9. Обзор границы раздела между соседними слоями: 1 – граница послойной зоны расплава; 2 – кончики дендритных ячеек; 3, 4 –эвтектика фазы γ +Лавеса; 5 – карбид металла

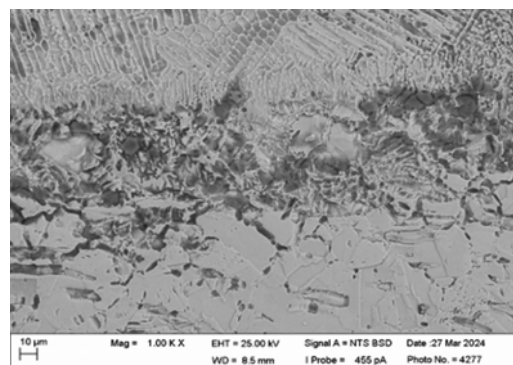
и сварке, часто приводят к образованию включений карбидов. Некоторые неоднородности химического состава можно наблюдать на рис. 9 [6]. Такая сегрегация способствует образованию карбидов NbC и фазы Лавеса в междендритной области.

Химический состав фаз, обозначенных на рис. 10, представлен в табл. 2 (мас. %). Это служит дополнительным доказательством присутствия фазы Лавеса и карбидов NbC в готовом состоянии расплавленного электронным лучом *Inconel 718* и последующей ТО.

В областях, указанных на рис. 10–12, производится оценка химического состава зон с использованием рентгеноспектрального микроанализа рис. 13. Результаты анализа отражены в табл. 3.



а)



б)

Рис. 10. Электронные изображения исходного образца, зона шва

Химический состав фаз

Таблица 2

Элементы	Фаза	Ni	Nb	Ti	Fe	Cr	Mo	Si	C
1	МС	0,43	89,91	6,01	0,15	0,62	–	–	2,73
2	фаза Лавеса	42,20	22,87	0,11	13,54	11,24	9,53	0,5	–
3	МС	0,4	90,38	6,31	0,17	0,7	0,71	–	0,99
4	фаза Лавеса	38,8	28,55	0,23	11,70	9,40	11,19	0,77	–
5	γ matrix	56,19	4,14	0,68	18,99	15,91	3,80	0,04	–

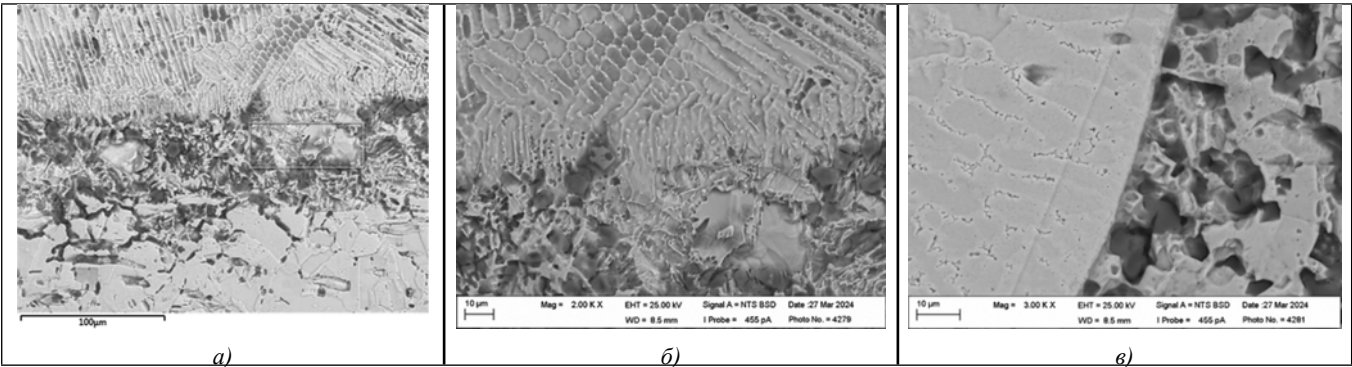


Рис. 11. Электронное изображение околошовной зоны исходного образца

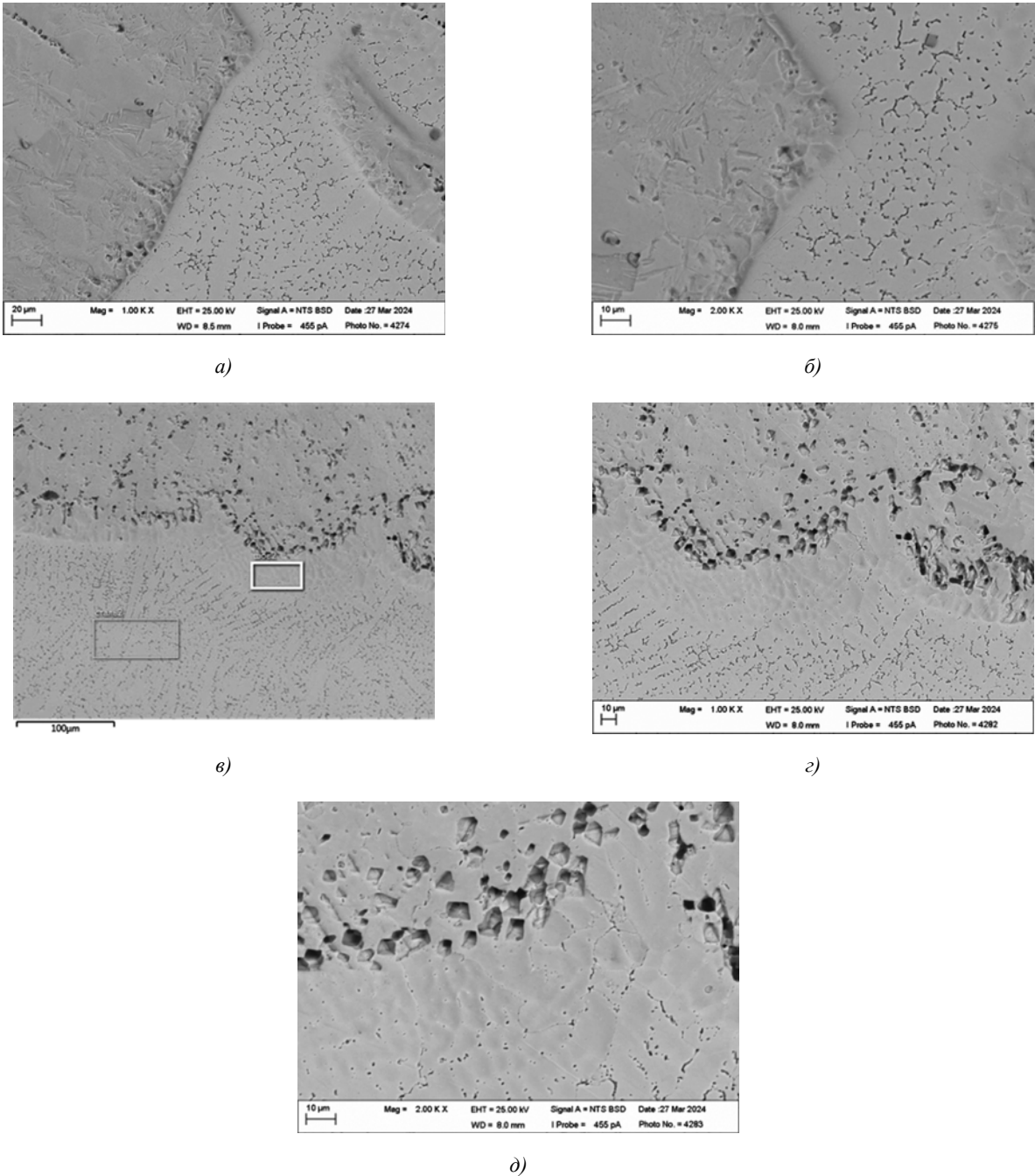


Рис. 12. Электронные изображения образца после ТО (а, б) и его околошовной зоны (в, з, д)

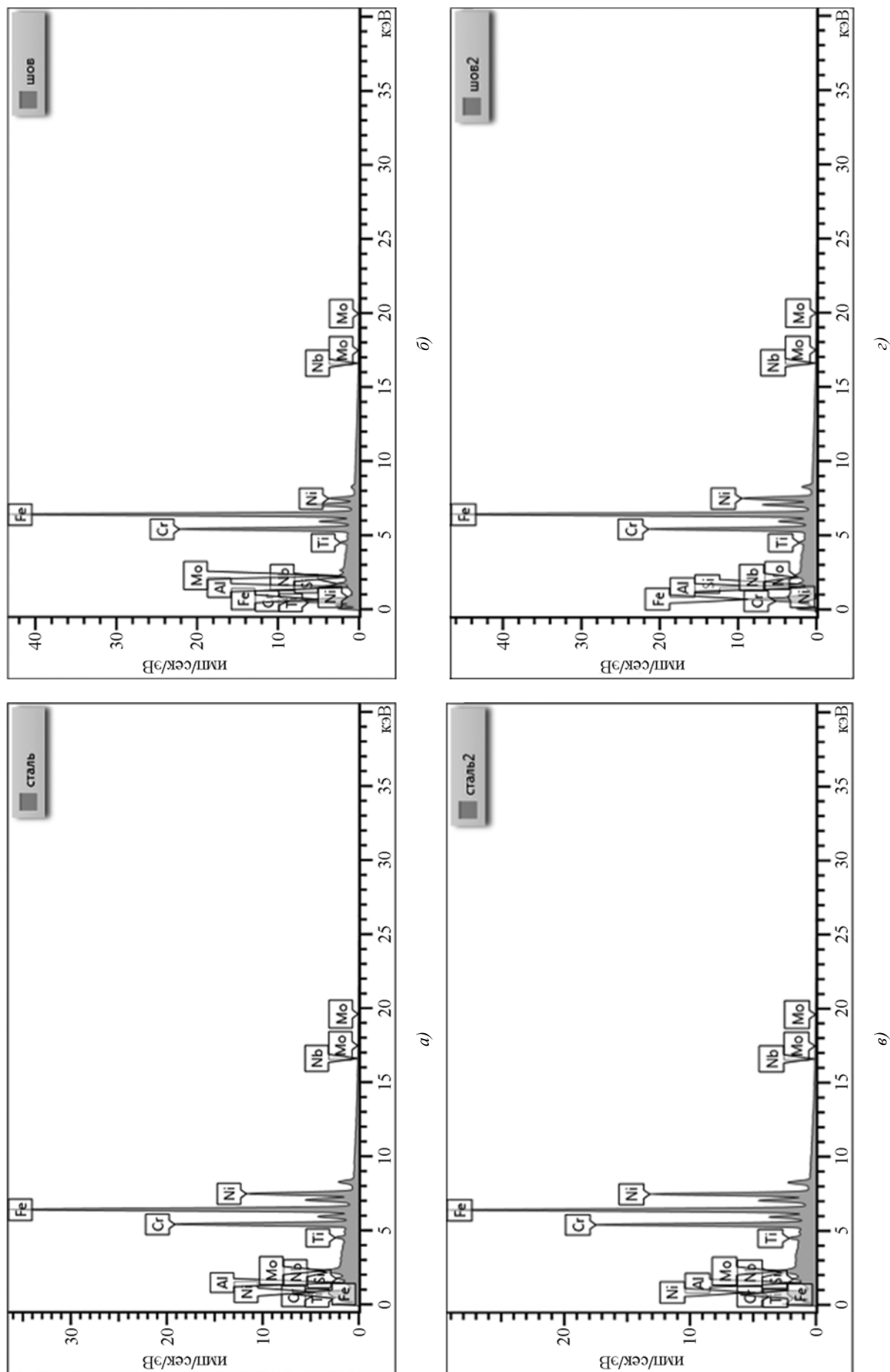


Рис. 13. РСМА-спектр, демонстрирующий наличие и содержание элементов в зоне шва (а, в) и околошовной зоне (б, г) исходного образца (а, б) и образца после ТО (в, г)

Таблица 3

Химический состав зон сварного соединения

Название спектра	Al, %	Si, %	Ti, %	Cr, %	Fe, %	Ni, %	Nb, %	Mo, %	Сумма
Шов 1	0,26	0,61	0,67	19,04	52,32	23,82	1,95	1,33	100
Край шва	0,24	0,83	0,58	22,63	66,88	7,34	0,5	0,99	100
Шов 2	0,27	0,5	0,63	19,43	46,28	30,02	1,67	1,22	100
Край шва 2	0,18	0,48	0,37	18,92	61,22	17,57	0,55	0,69	100

Исходя из полученных данных, видно существенное процентное уменьшение содержания Ni в зоне шва с увеличением содержания Fe, что может привести к охрупчиванию сварного шва и, как результат, возникновению микротрещин при механическом воздействии на изделие в процессе эксплуатации. Также заметно общее снижение содержания Fe в термообработанном образце с одновременным повышением содержания Ni; особенно весомо повышение в области шва.

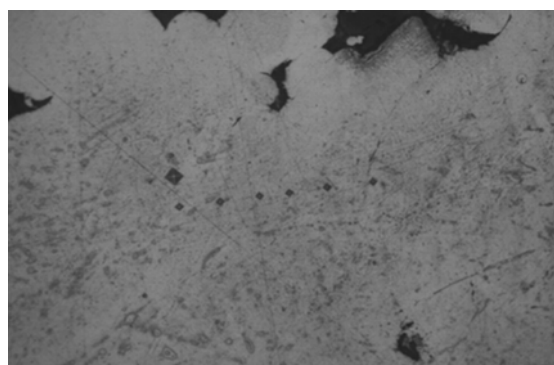
Для оценки влияния изменения атомного состава, являющегося следствием ТО, проведен замер микротвердости образцов в трех зонах: зона *Inconel 718 SLM*, средняя часть и край сварного шва (см. рис. 14).

Результаты исследования показывают увеличение микротвердости термообработанного образца, общее снижение микротвердости в средней части и крае шва (см. рис. 15, табл. 4).

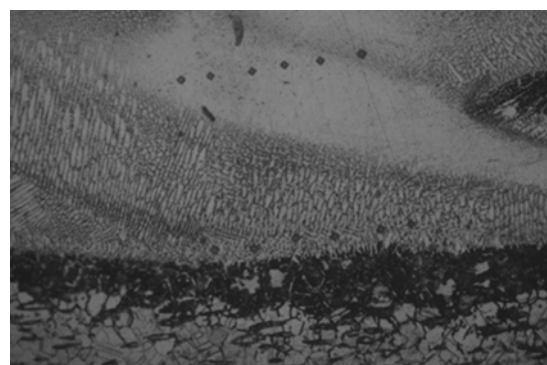
Однако формы отпечатков образца, подвергнутого ТО, дают основания утверждать о снижении напря-

жения в образце, присущего как процессу сварки, так и технологии печати *SLM* (см. рис. 16). На рис. 16, а наблюдается изменение геометрии отпечатков, грани пирамиды вогнуты, что может свидетельствовать о наличии напряжений, поскольку материал стремится вернуть сплошность в месте внедрения индентора.

Исследование показывает, что в результате проведенной ТО изменение атомного состава влияет на микротвердость исследуемых зон образцов. В средней части и на краю шва термообработанного образца снижается содержание Si на 0,11 и 0,35 %, Ti на 0,04 и 0,21 % и Fe на 6,04 и 5,66 % от общей атомной массы, соответственно. Однако повышается содержание Ni на 6,2 и 10,23 %. Содержание Cr возрастает в средней части на 0,39 % и уменьшается на краю шва на 3,71 %. Вышеуказанные изменения состава способствуют уменьшению твердости средней части и края шва. Также проведение ТО демонстрирует снятие напряжений во всех исследуемых зонах.



а)



б)



в)



г)

Рис. 14. Измерение зон *Inconel 718* (а, в), средняя часть и край шва при $\times 200$ (б) и $\times 500$ (г) исходного образца (а, б) и образца, подвергнутого ТО (в, г)

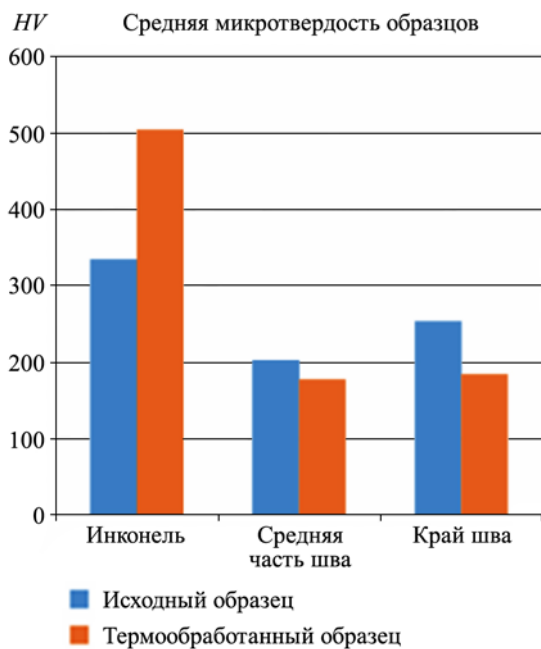


Рис. 15. Сравнительная гистограмма микротвердости образцов

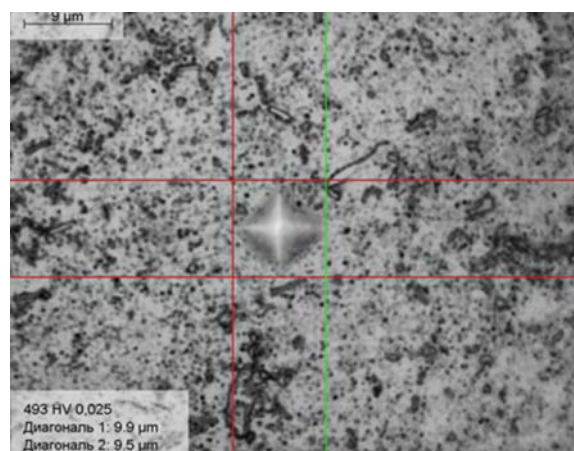
Таблица 4

Значения твердости образцов

Исходный образец		Термообработанный образец	
№	Значение твердости, HV	№	Значение твердости, HV
<i>Inconel 718</i>			
1	386	1	522
2	303	2	474
3	308	3	527
4	379	4	497
5	310	5	493
6	318	6	512
Средняя часть шва			
1	220	1	207
2	216	2	192
3	213	3	165
4	187	4	163
5	198	5	168
6	181	6	169
Край шва			
1	274	1	198
2	278	2	179
3	288	3	169
4	257	4	190
5	243	5	181
6	178	6	188



а)



б)

Рис. 16. Отпечатки индентора исходного образца *Inconel 718* (а) и после ТО (б)

Исследование показывает, что в результате проведенной ТО изменение атомного состава влияет на микротвердость исследуемых зон образцов. В средней части и на краю шва термообработанного образца снижается содержание Si на 0,11 и 0,35 %, Ti на 0,04 и 0,21 % и Fe на 6,04 и 5,66 % от общей атомной массы, соответственно. Однако повышается содержание Ni на 6,2 и 10,23 %. Содержание Cr возрастает в средней части на 0,39 % и уменьшается на краю шва на 3,71 %. Вышеуказанные изменения состава способствуют уменьшению твердости средней части и края шва. Также проведение ТО демонстрирует снятие напряжений во всех исследуемых зонах.

Выводы. 1. Исходя из результатов исследования, можно судить о благоприятном влиянии выбранного режима ТО на микроструктуру *Inconel 718*, повышая ее микротвердость, а также на снижение внутренних напряжений во всем образце. Также ТО снижает на-

личие и размеры пор в *Inconel 718 SLM* без их полного устранения.

2. В сварном шве влияние ТО проявляется в виде небольшого снижения микротвердости во всем объеме. Снимки *SEM* показывают наличие фазы Лавеса в области сварного шва.

3. На основе вышеуказанных результатов можно утверждать о необходимости смены режима ТО с повышением температуры первой ступени отжига для устранения дефектов, присущих технологии печати *SLM* и сварному шву, а также удаления фазы Лавеса, что приведет к улучшению целостности микроструктуры и физических свойств, за счет удаления фаз с негативным воздействием.

Список литературы

1. Huang W., Yang J., Yang H. et al. Heat treatment of Inconel 718 produced by selective laser melting: Microstructure and mechanical properties // *Materials Science & Engineering A*. 2019. № 750 C.
2. Tabaie S., Rezai-Aria F., Flipo B. C. D. Post-Weld Heat Treatment of Additively Manufactured Inconel 718 Welded to Forged NiBased Superalloy AD730 by Linear Friction Welding // *Metallurgical and Materials Transactions A*. 2021. № 52. Pp. 3475–3488.
3. Hilaire A., Andrieu E., Wu X. High-temperature mechanical properties of alloy 718 produced by laser powder bed fusion with different processing parameters // *Additive Manufacturing A*. 2019. № 26. Pp. 147–160.
4. Sing S. L., An J., Yeong W. Y., Wiria F. E. Laser and electron-beam powder-bed additive manufacturing of metallic implants: a review on processes, materials and designs // *J. Orthop. Res.* 2016. № 34 (3). Pp. 369–385.
5. *3D-печать металлами* // 3D Today. URL: https://3dtoday.ru/wiki/3dprint_metal.
6. Chlebus E., Gruber K., Kuźnicka B. et al. Effect of heat treatment on the microstructure and mechanical properties of Inconel 718 processed by selective laser melting // *Mater. Sci. Eng. A*. 2015. Vol. 639. Pp. 647–655.
7. Kirka M. M., Unocic K. A., Raghavan N. et al. Microstructure development in electron beam-melted inconel 718 and associated tensile properties // *J. Occup. Med.* 2016. № 68 (3). Pp. 1012–1020.
8. Педаш А. А., Лысенко Н. А., Клочихин В. В. Структура и свойства образцов из сплава Inconel 718 полученных

по технологии селективного лазерного плавления // *Авиационно-космическая техника и технологии*. 2017. № 5. С. 46–52

9. Рашковец М. В., Никулина А. А., Климова-Корсмик О. Г. и др. Исследование фазового состава никелевого сплава Inconel 718, полученного аддитивной технологией // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. 2020. Т. 22. № 3. С. 69–81.

References

1. Huang W., Yang J., Yang H. et al. Heat treatment of Inconel 718 produced by selective laser melting: Microstructure and mechanical properties. *Materials Science & Engineering A*, 2019, no. 750 C.
2. Tabaie S., Rezai-Aria F., Flipo B. C. D. Post-Weld Heat Treatment of Additively Manufactured Inconel 718 Welded to Forged NiBased Superalloy AD730 by Linear Friction Welding. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 2021, no. 52, pp. 3475–3488.
3. Hilaire A., Andrieu E., Wu X. High-temperature mechanical properties of alloy 718 produced by laser powder bed fusion with different processing parameters. *Additive Manufacturing A*, 2019, no. 26, pp. 147–160.
4. Sing S. L., An J., Yeong W. Y., Wiria F. E. Laser and electron-beam powder-bed additive manufacturing of metallic implants: a review on processes, materials and designs. *J. Orthop. Res.*, 2016, no. 34 (3), pp. 369–385.
5. 3D printing with metals. *3D Today*, available at: https://3dtoday.ru/wiki/3dprint_metal.
6. Chlebus E., Gruber K., Kuźnicka B. et al. Effect of heat treatment on the microstructure and mechanical properties of Inconel 718 processed by selective laser melting. *Mater. Sci. Eng. A*, 2015, vol. 639, pp. 647–655.
7. Kirka M. M., Unocic K. A., Raghavan N. et al. Microstructure development in electron beam-melted inconel 718 and associated tensile properties. *J. Occup. Med.*, 2016, no. 68 (3), pp. 1012–1020.
8. Pedash A. A., Lysenko N. A., Klochikhin V. V. Structure and properties of Inconel 718 alloy samples obtained by selective laser melting technology. *Aviation and space engineering and technology*, 2017, no. 5, pp. 46–52
9. Rashkovets M. V., Nikulina A. A., Klimova-Korsmik O. G., et al. Study of the phase composition of Inconel 718 nickel alloy obtained by additive technology // *Metal processing (technology, equipment, tools)*, 2020, vol. 22, no. 3, pp. 69–81.

УДК 66.091:549:642.21

Е. М. ГОТЛИБ, д-р техн. наук (Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань); **А. Г. СОКОЛОВА**, канд. техн. наук (НИУ МГСУ, г. Москва); **И. Д. ТВЕРДОВ** (АНО ВО «Университет Иннополис», г. Иннополис)

E-mail: as.falconi@yandex.ru

E. M. Gotlib (Kazan National Research Technological University, Kazan); **A. G. Sokolova** (National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow); **I. D. Tverdov** (ANO HE «Innopolis University», Innopolis)

Синтетический диопсид на основе золы рисовой шелухи и доломита: исследование состава и свойств

Synthetic diopside on the base of rice husk ash and dolomite: the study of composition and properties

Данное исследование посвящено изучению фазового, элементного состава и свойств аналога природного минерала диопсида, синтезированного на основе многотоннажного отхода сельскохозяйственного производства золы рисовой шелухи и доломита методом твердофазного синтеза. Синтетический диопсид по своему составу и свойствам не уступает природному аналогу и может быть эффективно использован в качестве наполнителя композиционных материалов, в т. ч. керамических и полимерных.

This article is devoted to the study of the phase, elemental composition and properties of an analogue of the natural mineral diopside, synthesized on the basis of multi-tonnage agricultural waste rice husk ash and dolomite by solid-phase synthesis. Synthetic diopside is not inferior to its natural analogue in its composition and properties and can be effectively used as a filler for composite materials, including ceramic and polymeric ones.

Ключевые слова: синтетический диопсид; минеральная добавка; фазовый состав; композиционные материалы; модификация.

Keywords: synthetic diopside; mineral additive; phase composition; composite materials; modification.

Стремительный промышленный рост диктует необходимость постоянного поиска инновационных эффективных материалов и технологий взамен традиционных. Повышение эффективности материалов является важнейшей задачей современного материаловедения, в то время как новые геополитические вызовы приводят к необходимости улучшения свойств уже известных применяемых материалов.

Минерал диопсид $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ является распространенным природным пироксеном, редко встречающимся в природе в чистом состоянии. Расчетный химический состав диопсида (% мас.): CaO – 25,9; MgO – 18,5; SiO_2 – 55,6. В виде примесей содержит оксида железа, марганца, алюминия и хрома.

В РФ известны месторождения железистых диопсидов, такие как Алданское и Качканарское, а также безжелезистых (Слюдянское месторождение). Природный диопсид успешно рекомендует себя в качестве компонента для производства широкого спектра материалов различного назначения. Так, например, минеральная диопсидовая добавка на основе минерала Алданского месторождения применяется в

огнезащитных составах. Повышение огнезащитной эффективности достигается за счет содержания в добавке тремолита, который повышает температуру разложения вермикулита и диопсидовой добавки.

Комплексная переработка диопсида по фторидной технологии применяется для получения скандиевого концентрата, а также производства удобрений, коагулянтов и пигментов [1]. Высокое содержание оксида магния (до 20 %) и соединений скандия в исходном сырье позволяет упростить сернокислотное извлечение ценных компонентов и сократить энергозатраты.

В керамической промышленности диопсид широко применяется в производстве строительной, электро-технической и тонкой керамики. Так, например, он является основной кристаллической фазой керамических изоляторов для СВЧ-диапазона. Высокая прочность диопсида позволяет снизить температуру обжига благодаря образованию легкоплавких эвтектик с другими компонентами смеси, что, в свою очередь, также сокращает энергозатраты на производство строительной и тонкой керамики. Следует отметить, что в технологии производства диопсидовой керамики

ки необходимо предусматривать меры по расширению интервала спекания керамической шихты.

Предыдущие исследования показывают эффективность применения диопсида в качестве наполнителя высокопрочных керамических материалов с малой усадкой [2]. В качестве основы керамических масс исследователи использовали диопсидовую породу месторождений Восточно-Сибирского региона, преимущественно содержащую оксиды кремния. Для снижения температуры обжига массы использовался раствор силиката натрия, известный своей клеящей способностью. Проникновение кристаллов силикатного состава в молекулярный слой склеиваемых материалов приводит к защите их от разрушения и повышению прочностных характеристик. Рентгеноструктурный анализ выявил также наличие диопсида, кварца и кальцита. При увеличении содержания диопсида до 90 % по массе прочность получаемых материалов увеличивается при одновременном снижении усадки, что особенно важно для изготовления крупноразмерных плит для облицовки стен и полов в зданиях и сооружениях.

Применение диопсида в составе керамических масс позволяет получать цветные керамические изделия с рядом ценных эксплуатационных характеристик. Водостойкие изделия, устойчивые к циклическим сезонным изменениям, долговечны и сохраняют свои эстетические свойства на протяжении длительного периода эксплуатации, что позволяет использовать их для напольных покрытий в зонах повышенной проходимости и для декоративной облицовки зданий. В экспериментальных образцах керамики, полученных исследователями из Болгарской Академии наук [3], при микроскопическом исследовании приготовленных шлифов установлены две минеральные фазы: основная (клинопироксен) и вторичная (зеленая шпинель). В образовавшейся преобладающей фазе диопсида отмечено наличие многочисленных включений магнево-хромовой шпинели зеленого цвета (размерами до 0,05 мм), равномерно распределенных по шлифам, что обуславливает характерную зеленую окраску образцов.

Склонность к изоморфному замещению ионов в структуре диопсида позволяет использовать диопсид в качестве основы керамических пигментов. Стехиометрический диопсид может быть использован для синтеза коричневых и бежевых керамических пигментов методом твердофазного спекания [4]. Преобладающей фазой в полифазных керамических пигментах является Fe-диопсид. Цвет получаемых пигментов зависит от количественного соотношения минеральных фаз, при этом интенсивность цвета пигмента снижается при обжиге при 1200 °С с увеличением количества свободного кристаллического

диоксида кремнезема. Керамические пигменты на основе диопсида и тремолита устойчивы в подглазурной и надглазурной росписи, благодаря чему они могут использоваться в качестве керамических красок.

Исследователи Томского политехнического университета показывают эффективность использования диопсида с примесями железа в шихтах для производства строительного кирпича, рекомендуемое содержание диопсидового компонента составляет 10 % по массе [5]. Установлена зависимость дисперсности вводимого в шихту диопсида от пластичности исходного глиняного сырья. Также выявлено, что для снижения температуры спекания керамических изделий содержание оксидов железа в шихте должно составлять менее 1 % масс. при совместном мокром помоле компонентов.

Нетоксичность и биосовместимость диопсида расширяют возможности его применения в качестве перспективного материала для биотехнологий, например, для инженерии костной ткани [6]. Также в последние годы широкое распространение получают технологии изготовления стеклокерамических материалов с уникальным комплексом свойств, что позволяет использовать их в качестве заглушек для микроэлектроники, композитных фильтров, биоматериалов, связующих веществ и т. д. Регулируя размер кристаллов диопсида в пластичном материале, можно существенно повысить его твердость и износостойкость, что позволяет получать композиционные материалы с более высоким коэффициентом абразивного износа, по сравнению, например, с материалами, наполненными волластонитом.

Тем не менее, несмотря на наличие месторождений диопсидов на территории РФ, истощенность промышленно важных месторождений минерального сырья, усложненная логистика, связанная с удаленностью сырьевых регионов, сложность обогащения диопсида остро ставят проблему поиска альтернативных источников минерального сырья, которое может быть потенциально использовано для синтеза диопсида, например, горные породы с высоким содержанием кальций- и магнийсодержащих минералов, такие как серпентин, доломит, тальк, тремолит.

Доказана эффективность применения многотоннажных отходов зернопереработки для синтеза диопсида, в частности, золы рисовой шелухи (ЗРШ), успешно применяемой для получения синтетического волластонита [7, 8].

Зарубежные исследования по получению синтетического диопсида (СД) из золы рисовой шелухи весьма ограничены. В работе [9] исследователи синтезируют диопсид золь-гель методом, используя яичную скорлупу, прошедшую специальную обработку, как источник оксида кальция.

Цель данной работы – изучить элементный, фазовый состав и свойства синтетического диопсида на основе золы рисовой шелухи и доломита и провести сравнительный анализ с составом образцов природного аналога; установить возможность использования СД в качестве наполнителя композиционных материалов.

Материалы и методы исследования

Диопсид, синтезированный Твердовым И. Д., из золы рисовой шелухи (ЗРШ), полученной обжигом при температуре 500 °С и доломита (ГОСТ 23672–2020) [10]. В качестве плавня используется борная кислота в количестве 5 % масс. (ГОСТ 18704–78) [11]. Природный диопсидовый концентрат (ПД), полученный из промежуточного слоя породы Бурутуйского месторождения.

Фазовый состав образцов кальций магниевых силикатов определяет методом рентгенографического количественного анализа (РКФА) на дифрактометре *Rigaku SmartLab* Комплексной лаборатории «Наноаналитика» КНИТУ. Шаг сканирования 0,02, экспозиция 1 с в точке, угловой интервал 2 θ от 3 до 65 °С. Элементный состав образцов кальциево-магниевых силикатов определяется методом электронно-микроскопического анализа на растровом микроскопе *Jeol JSM7001F* (Япония) с помощью энергодисперсионного детектора *Oxford INCA X-max 80* (активная площадка кристаллов 80 мм²).

Показатели пористости анализируются методом Брунауэра, Эммета и Теллера (*ISO 9277:2010*) на приборе *Quantachrome Nova 1200e*, предел допускаемой погрешности измерений составляет ± 5 %. Ртутная порометрия и газопоглощение проводится на приборе *Quantachrome Nova 1200e*.

Маслоемкость кальций магниевых силикатов определяется по ГОСТ 21119.8–75 (ИСО 787-5-80). рН водных суспензий исследуемых образцов оценивается на комбинированном измерителе *SevenMulti* по ГОСТ 21119.3–91, точность измерения составляла $\pm 0,001/\pm 0,1$.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследуются фазовые составы диопсида, синтезированного в течение 3 ч при температуре 1100 °С при трех различных соотношениях исходных сырьевых компонентов (ЗРШ и доломита методом количественного рентгенографического анализа). РКФА-спектры исследуемых образцов синтетического диопсида и диаграмма с анализом полученных данных представлены на рис. 1, 2.

Анализ полученных РКФА-спектров показывает, что все исследуемые образцы содержат преимущественно диопсид, а кристаллические кремнеземы,

такие как тридимит и кристобалит, присутствуют в виде хвостовых примесей. Тридимит и кристобалит представляют собой кристаллические формы диоксида кремния (SiO₂), полиморфа кварца. Тридимит образуется при температурах от 870 до 1470 °С, отличаясь от кварца кристаллической структурой (гексагональная или ромбическая). Тридимит является важным компонентом шихты в стекольной и керамической промышленности, поскольку может влиять на термостойкость материалов. Кристобалит образуется при температуре примерно от 1470 °С и выше (до примерно 1726 °С), имеет тетрагональную или кубическую структуру кристаллов. Кристобалит стабилен при высоких температурах, поэтому также оказывает влияние на термостойкость и прочность керамических и огнеупорных изделий.

Существенный избыток доломита в исходной смеси позволяет получить максимальный выход целевого компонента 98 %, что соответствует образцу № 2 (см. рис. 2).

В образце природного диопсидового концентрата (ПД), взятого для сравнительного анализа, содержание диопсида на порядок ниже, чем в СД (см. рис. 3). Преобладающие в составе ПД доломит (47 % масс.) и кальцит (36 % масс.) также могут использоваться в качестве наполнителей композиционных материалов. Кальцит CaCO₃ широко используется в качестве наполнителей для бетона и растворов для улучшения прочности и снижения стоимости, а также входит в состав гипсовых плит, штукатурок и красок.

При использовании ПД в качестве наполнителя ожидается синергетический эффект от наличия в его фазовом составе диопсида, наряду с доломитом и кальцитом.

Исследования элементного состава (см. табл. 1) образцов кальций магниевых силикатов с помощью энергодисперсионного детектора показывают значительно более высокое содержание кремния (в 1,7 раза), железа (в 2,5 раза) и магния (в 2,6 раза) в образцах ПД по сравнению с СД. При этом содержание алюминия выше в образце СД в 1,4 раза.

Исследования характеристик пористости синтезированного диопсида показывают, что он имеет на порядок более низкий суммарный объем мезопор по сравнению с золой рисовой шелухи, сырьевым компонентом для его получения, при этом микропоры у СД не обнаружены. По показателю среднего диаметра пор СД сопоставим с ЗРШ. Кальций магниевый силикат ПД по суммарному объему пор в три раза превышает синтезированный аналог, и также имеет примерно в три раза большую удельную поверхность пор (табл. 2). Средний диаметр мезопор исследуемых кальций магниевых силикатов сопоставим по значениям.

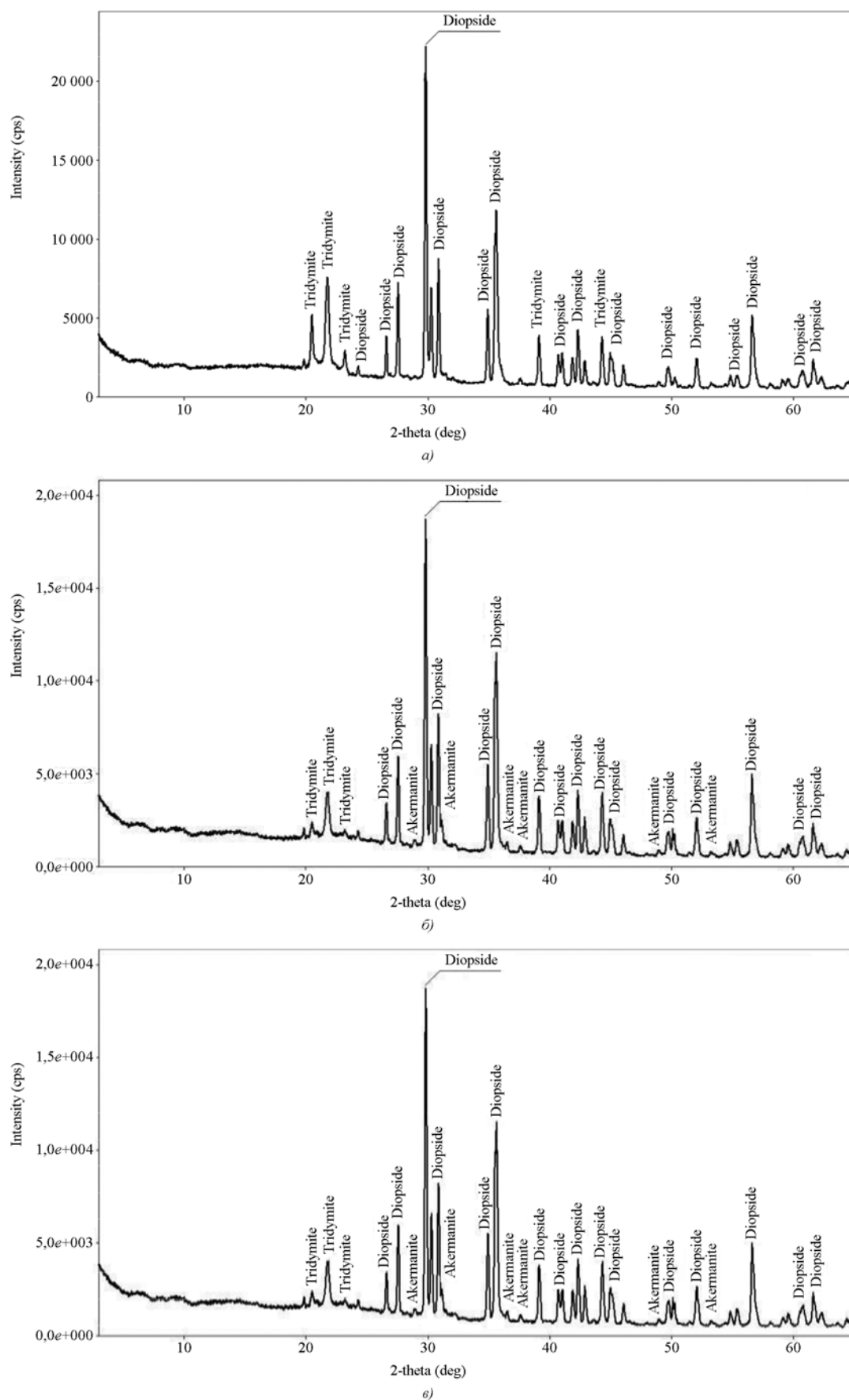


Рис. 1. РКФА-спектры образцов СД, полученных из смесей с содержанием ЗРШ 47,5 %: доломита 47,5 %, борной кислоты 5 % (образец № 1) (а); ЗРШ-33,2 %: доломита 61,8 %, борной кислоты 5 % (образец № 2) (б) и ЗРШ 38 %, доломита 57 %, борной кислоты 5 % (образец № 3) (в)

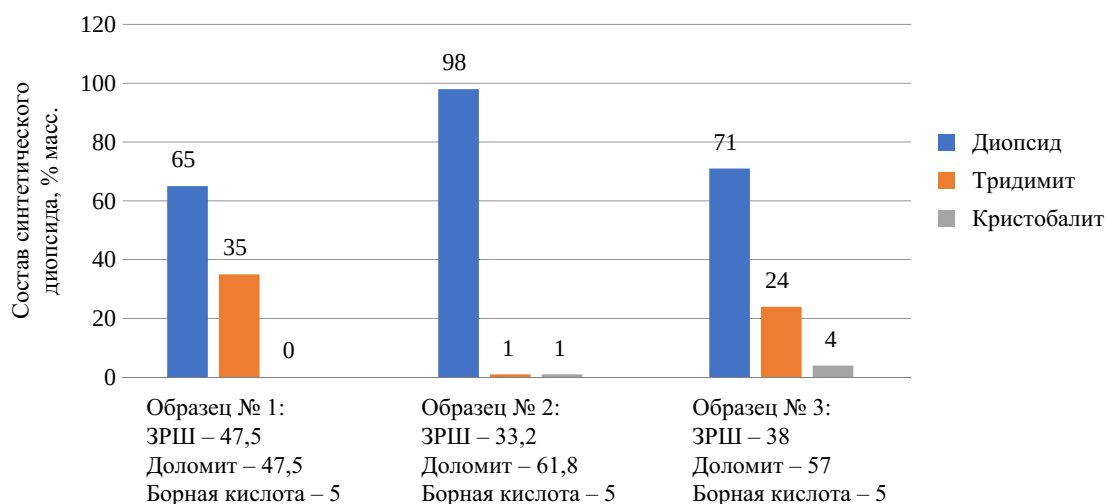
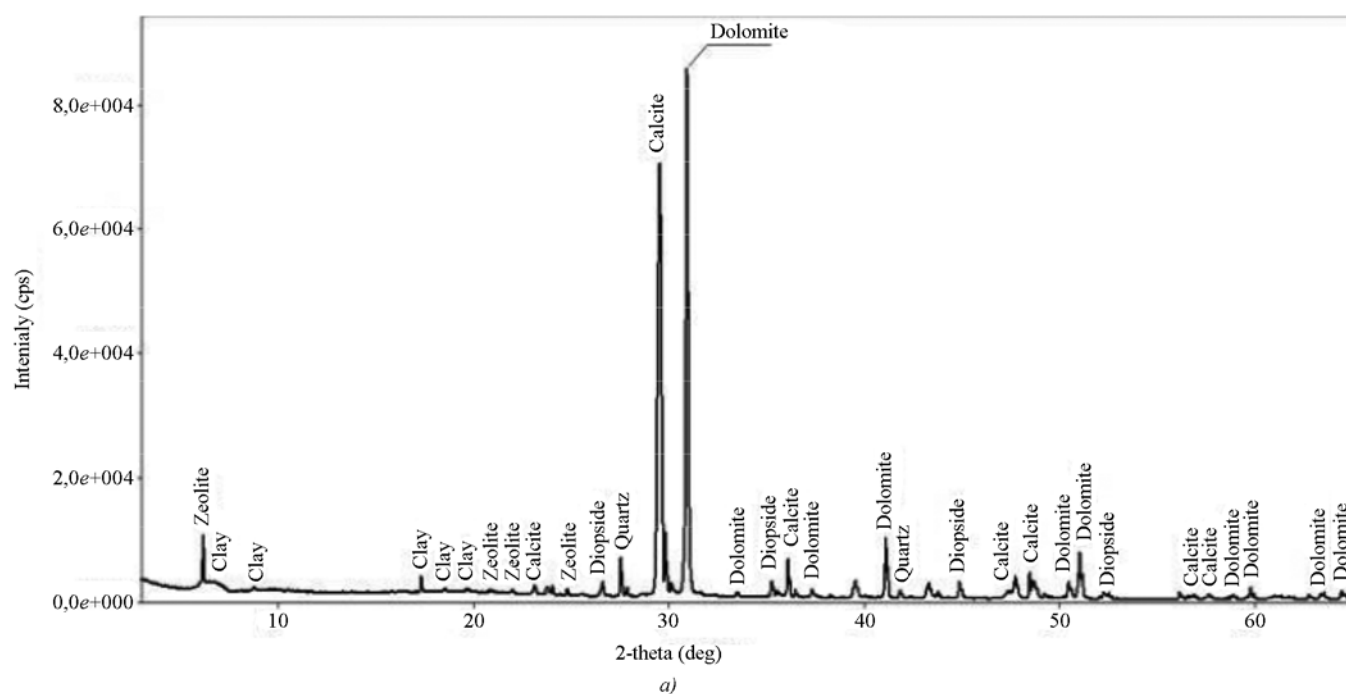
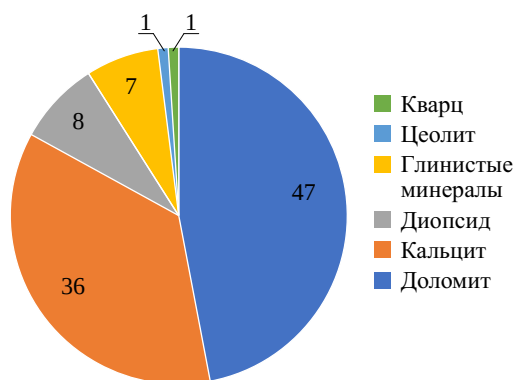


Рис. 2. Фазовый состав синтетического диопсида, полученного при разных соотношениях исходных компонентов смеси, % масс.



Фазовый состав ПД, % масс.



б)

Рис. 3. РКФА-спектр (а) и фазовый состав ПД (б)

Таблица 1

Элементный состав образцов СД и ПД

Наполнитель	Содержание химических элементов, %										
	Ca	Si	O	Mg	Al	Fe	K	S	Mn	Na	Cl
СД	5,96	3,98	2,02	9,67	7,61	1,14	1,12	0,92	0,92	0,62	0,05
ПД	5,03	6,70	1,35	25,21	5,30	2,80	0,02	0,61	–	0,17	0,07

Таблица 2

Показатели пористости СД и ПД

Показатель пористости	Природный диопсид	Синтетический диопсид
Удельная поверхность пор по БЭТ-методу, м ² /г	1,86	0,614
Суммарный объем мезопор по ВЖН, см ³ /г	0,003	0,001
Средний диаметр мезопор по ВЖН, нм	3,89	4,11
Суммарный объем микропор по t-методу, см ³ /г	не обнаружено	не обнаружено

Исследования pH водных дисперсий кальций магнелиевых силикатов показывают, что для природного минерала характерна щелочная природа поверхности ($pH = 10$), в то время как для синтезированного диопсида значения водородного показателя близки к нейтральным ($pH = 8$) ввиду использования 5 %-ной борной кислоты в качестве плавня при синтезе.

Показатели маслосъемности для исследуемых кальций магнелиевых силикатов составляют, соответственно, 66,9 г/г для синтезированного диопсида и 82,3 г/г для природного минерала, что существенно ниже аналогичного показателя золы рисовой шелухи ввиду более низкой пористости и отсутствием органической фазы в составе СД и ПД.

Выводы. 1. Диопсид, синтезированный из золы рисовой шелухи и доломита в присутствии борной кислоты, не уступает по своим свойствам природному аналогу и, следовательно, может эффективно использоваться в качестве модификатора композиционных материалов, способствуя утилизации многоотходных сельскохозяйственных отходов в виде золы рисовой шелухи.

2. Эффект от применения синтетического диопсида является значимым для развития циркуляционной экономики, целью которой является вторичное использование ресурсов, включая отходы промышленности.

Список литературы

1. Зайцева А. Д., Галактионов С. С., Краснощеков А. Н., Кучумов В. А. Повышение эффективной комплексной технологии переработки диопсида // Успехи в химии и химической технологии. 2022. Т. 36. № 13. С. 121–122.

2. Меньшикова В. К., Демина Л. Н. Керамические строительные материалы с использованием нетрадиционного вида сырья // Строительные материалы и изделия. 2020. Т. 3. № 3. С. 40–46.

3. Lakov L., Jivov B., Aleksandrova M. Synthesis, phase composition and microstructure of colored ceramic materials based on diopside // Materials Science. Non-equilibrium phase transformation. 2020. № 3. Pp. 77–79.

4. Dimitrov Ts. I., Titorenkova R. N., Zaichuk A. V., Tsvetanova Y. K. Synthesis and study of ferri-diopside ceramic pigments // Voprosi khimii i khimicheskoi tekhnologii. 2022. № 1. Pp. 39–46.

5. Верецагин В. И., Могилевская Н. В., Сафонова Т. В. Спекание и прочность стеновой керамики и фаянса из композиций глинистого и диопсидсодержащего сырья // Вестник ТГАСУ. 2019. Т. 21. № 6. С. 122–133.

6. Орлова П. А., Жулина А. В., Кривокубов М. С. и др. Применение диопсида в качестве носителя рекомбинантного ВМР-2 в составе гибридных имплантатов на основе природных материалов для инженерии костной ткани // Мат-лы V Нац. конгресса по регенеративной медицине. Гены и клетки. 2022. № 3. С. 166–167.

7. Готлиб Е. М., Соколова А. Г., Гимранова А. Р. Исследование влияния волластонита на свойства керамических изделий // Экономика строительства. 2023. № 9. С. 149–152.

8. Соколова А. Г., Габдулхаев К. Д., Готлиб Е. М. Свойства и фазовый состав силикатных наполнителей, полученных на основе различных продуктов переработки рисовой шелухи // Пожаровзрывобезопасность. 2025. Т. 34. № 1. С. 32–39.

9. Srinath P. A., Reddy A. K. A novel cost-effective approach to fabricate diopside bio ceramics // Advanced powder technology. 2021. Vol. 32. № 3. Pp. 875–884.

10. Пат. № 28011461С РФ. Способ получения диопсида // И. Д. Твердов, Э. Р. Галимов, Е. М. Готлиб, Е. С. Ямалеева. Оpubл. 02.08.2023.

11. Твердов И. Д., Соколова А. Г., Готлиб Е. М. Влияние содержания борной кислоты на фазовый состав кальций-магнелиевых силикатов на основе карбонизированной рисовой шелухи // КШП ОМД. 2025. № 2. С. 24–27.

References

1. Zaitseva A. D., Galaktionov S. S., Krasnoshchekov A. N., Kuchumov V. A. Improving the efficiency of complex technology for diopside processing. *Advances in Chemistry and Chemical Technology*, 2022, vol. 36, no. 13, pp. 121–122.

2. Menshikova V. K., Demina L. N. Ceramic building materials using non-traditional raw materials. *Construction materials and products*, 2020, vol. 3, no. 3, pp. 40–46.

3. Lakov L., Jivov B., Aleksandrova M. Synthesis, phase composition and microstructure of colored ceramic materials based on diopside. *Materials Science. Non-equilibrium phase transformation*, 2020, no. 3, pp. 77–79.

4. Dimitrov Ts. I., Titorenkova R. N., Zaichuk A. V., Tsvetanova Y. K. Synthesis and study of ferri-diopside ceramic pigments. *Voprosi khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2022, no. 1, pp. 39–46.

5. Vereshchagin V. I., Mogilevskaya N. V., Safonova T. V. Sintering and strength of wall ceramics and earthenware from composites of clay and diopside-containing raw materials. *Bulletin of TSUACE*, 2019, vol. 21, no. 6, pp. 122–133.

6. Orlova P. A., Zhulina A. V., Krivozubov M. S., et al. Use of diopside as a carrier of recombinant BMP-2 in hybrid implants based on natural materials for bone tissue engineering. *Proceedings of the V National Congress on Regenerative Medicine. Genes and Cells*, 2022, no. 3, pp. 166–167.

7. Gotlib E. M., Sokolova A. G., Gimranova A. R. Study of the influence of wollastonite on the properties of

ceramic products. *Construction Economics*, 2023, no. 9, pp. 149–152.

8. Sokolova A. G., Gabdulkhaev K. D., Gotlib E. M. Properties and phase composition of silicate fillers obtained based on various rice husk processing products. *Fire and Explosion Safety*, 2025, vol. 34, no. 1, pp. 32–39.

9. Srinath P. A., Reddy A. K. A novel cost-effective approach to fabricate diopside bioceramics. *Advanced powder technology*, 2021, vol. 32, no. 3, pp. 875–884.

10. Tverdov I. D., Galimov E. R., Gotlib E. M., Yamaleeva E. S. *Sposob poluchenija diopsida* [Method for producing diopside]. Patent RF no. 28011461C, publ. 02.08.2023.

11. Tverdov I. D., Sokolova A. G., Gotlib E. M. Effect of boric acid content on the phase composition of calcium-magnesium silicates based on carbonized rice husks. *Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*, 2025, no. 2, pp. 24–27.

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.

ИНСТРУМЕНТ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА

УДК 621.941.01

Е. В. АРТАМОНОВ, д-р. техн. наук; **А. М. ТВЕРЯКОВ**, **А. С. ШТИН**, кандидаты техн. наук (Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень)

Email: shtin_as@mail.ru.

E. V. Artamonov, **A. M. Tveryakov**, **A. S. Shtin** (Tyumen Industrial University, Tyumen)

Повышение работоспособности режущего инструмента на основе физических характеристик твердых сплавов при токарной обработке стали 12X18H10T

Diagnostics of resistance and machined surface quality characteristics during turning of 12X18N10T steel

Исследуется повышение работоспособности режущего инструмента, оснащенного сменными режущими пластинами из твердых сплавов на основе исследования изменения его магнитных характеристик в зависимости от температуры. Установлена взаимосвязь физико-механических характеристик материалов с механическими характеристиками процесса резания. Проведенные испытания доказывают взаимосвязь изменения магнитных характеристик твердого сплава и его работоспособности при обработке металлов резанием.

This study explores ways to to diagnose the performance of cutting tools equipped with replaceable hard alloy cutting inserts based on the study of the variation of their magnetic characteristics with temperature. The interrelation of physical and mechanical characteristics of materials with mechanical characteristics of cutting process is established. The conducted tests demonstrate a correlation between changes in the magnetic properties of the carbide and its performance during metal cutting.

Ключевые слова: резание материалов; токарная обработка; физико-технические характеристики материалов; твердые сплавы; механические характеристики процесса резания.

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

Современные газотурбинные двигатели (ГТД) предъявляют высокие требования к материалам, используемым в их конструкциях. Такие детали двигателей, как лопатки турбин, диски, камеры сгорания и сопловые аппараты, работают в экстремальных условиях: при высоких температурах, значительных механических нагрузках и агрессивных средах. Для обеспечения надежности и долговечности этих компонентов применяются труднообрабатываемые материалы, такие как жаропрочные никелевые и кобальтовые сплавы.

Однако уникальные эксплуатационные свойства этих материалов создают серьезные технологические сложности при их механической обработке. Высокая твердость, низкая теплопроводность, склонность к наклепу и абразивному износу инструмента требуют

применения специализированных методов резания, нетрадиционных способов обработки и оптимизации режимов. В данной статье рассматриваются основные проблемы, возникающие при обработке труднообрабатываемых материалов для ГТД, а также перспективные технологические решения, направленные на повышение эффективности производства и качества деталей.

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 резании металлов и режущем инструменте вносят ученые источников [1–22].

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.

Цель данной работы – повышение работоспособности режущего инструмента, оснащенного сменными режущими пластинами из твердых сплавов на основе исследования изменения его магнитных характеристик в зависимости от температуры.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить литературный обзор по исследуемой тематике;
- проанализировать температуру изменения магнитных характеристик твердых сплавов в зависимости от температуры;
- провести экспериментальные исследования взаимосвязи свойств инструментальных материалов и характеристик процесса резания на примере токарной обработки стали 12X18H10T.

Известно, что режущие инструменты, оснащенные сменными пластинами из инструментальных твердых сплавов, имеют такие значения скорости резания, при которых интенсивность износа минимальна. На основе литературного анализа и экспериментальных исследований выдвинуто научное предположение о взаимосвязи изменения магнитных характеристик твердого сплава и его работоспособности при обработке металлов резанием.

Материалы и методы исследования

На ранее разработанной установке [23] проводятся исследования свойств инструментальных твердых сплавов на пластинках в состоянии поставки. По результатам исследований выявления температур-

ного интервала максимальной работоспособности сменных режущих твердосплавных пластин строится графическая зависимость изменения магнитного поля вихревых токов, наводимых в твердых сплавах от температуры нагрева. По построенной зависимости выявляется участок исследуемой характеристики с критическим изменением своих значений, затем графическим способом производится вычерчивание перпендикулярной линии оси ординат, на 5 % ниже от максимального значения исследуемой характеристики. Координаты точек пересечения построения прямых линий и основной кривой графика принимают за границы, затем определяется значение температуры, соответствующей данным границам. Полученный температурный интервал $\Delta\Theta_{\text{мр}}$ °С с границами, выявленными графическим способом, принимают за интервал повышенных эксплуатационных характеристик режущего инструмента, оснащенного твердым сплавом.

Данная методика позволяет определять температурные интервалы повышенных эксплуатационных характеристик режущего инструмента, оснащенного твердым сплавом. Метод основывается на построении графической зависимости сменных режущих пластин из инструментальных твердых сплавов в температурном диапазоне, характерном для обработки металлов резанием до 1100 °С, где выявляется диапазон температур с наибольшим изменением магнитного поля вихревых токов, наводимых в сменных режущих пластинах, выявляется величина погрешностей при измерениях, затем определяется температурный интервал максимальной работоспособности.

По полученным данным строится графическая зависимость ЭДС катушки автоколебательного контура, изменяемой под действием температур, характерных для процесса резания (см. рис. 1).

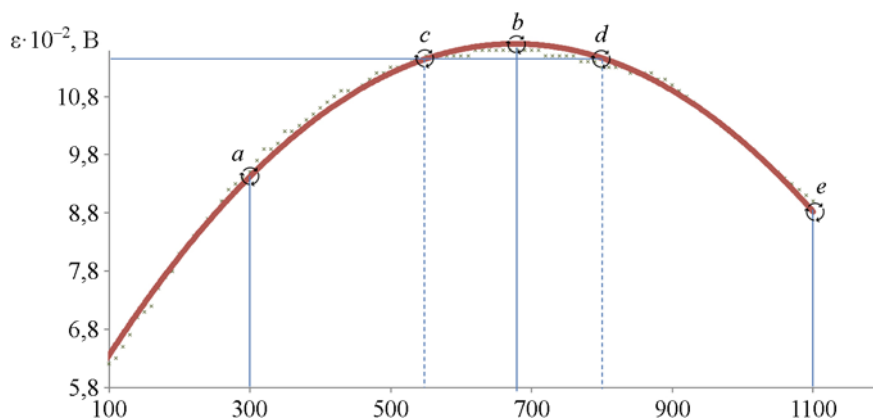


Рис. 1. Графическая зависимость магнитных свойств твердого сплава от температуры

По результатам исследования [24] получены температуры твердых сплавов, при поддержании которых наблюдается максимальная работоспособность

инструмента выполненного из данного твердого сплава. Для эксперимента, выбраны три представителя твердых сплавов с разным химическим составом,

наиболее часто используемые при обработке металлов резанием. Результаты исследований некоторых твердых сплавов занесены в табл. 1.

Таблица 1

Температуры, полученные при экспериментальных исследованиях

Марка твердого сплава по ГОСТ 3882–74	Температура, полученная во время эксперимента, °C	Состав
ВК8	730	92 %WC + 8 %CO
T5K10	780	5 %TiC + 85 %WC + + 10 %CO
T14K8	830	15 %TiC + 76 %WC + + 10 %CO

Для подтверждения, выдвинутого ранее научного предположения, проведены экспериментальные исследования на станочном оборудовании лаборатории резания металлов. Эксперимент проводится при точении заготовки из стали 12X18H10T диаметром 120–130 мм и длиной 600 мм резцами со сменными многогранными пластинами из твердых сплавов ВК8, T5K10 и T14K8 на станке 1K62. В табл. 2, 3 приведены режимы резания и геометрия режущей части инструментов, используемых при экспериментальных исследованиях.

Таблица 2

Режимы резания

12X18H10T (0,12 %C + 18 %Cr + 10 %Ni + 10 %Ti + 61,88 %Fe)			
глубина t	подача s	скорость v	Температура резания
0,5 мм	0,2 мм/об	25–305 м/мин	100–1000 °C

Таблица 3

Геометрия режущей части инструментов

Главный угол в плане	Вспомогательный угол в плане	Передний угол	Задний угол	Радиус при вершине
$\varphi = 45^\circ$	$\varphi_1 = 10^\circ$	$\gamma = 10^\circ$	$\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$	$R = 1 \text{ мм}$

Усилия резания измеряются трехкомпонентным электроиндуктивным динамометром серии УДМ-1200 конструкции ВНИИ. Силы резания на задней поверхности определяются по методу Н. Н. Зорева [7], основанному на сравнении сил при различных величинах износа по задней поверхности. Расчет нормальной и касательной силы на задней поверхности определяются арифметическим способом по трем

формулам и вспомогательным графиком определения полуширины плоской части контакта задней поверхности [7]. Измерение микротвердости прирезцово-й стороны стружки H_3 , и микротвердости ее основного сечения H'_3 производится на микротвердомере ПМТ-3 с нагрузкой на алмазную пирамиду 100 г., основные характеристики занесены в табл. 4.

Таблица 4

Основные характеристики микротвердомера ПМТ-3

Испытательные нагрузки, Н	0,0196–4,9
Предел допускаемой погрешности нагрузок, не более	0,02
Выдержка образцов под нагрузкой	10–15 с
Используемые инденторы	Алмазная пирамидка квадратного сечения
Номинальное значение угла при вершине алмазного наконечника	$136^\circ \pm 20'$

Средняя температура контакта измеряется методом естественной термопары. Метод естественной термопары основан на том, что резец, стружка и деталь, находясь в непрерывном контакте, представляют собой термоэлемент.

Результаты исследования и их обсуждение

Характер кривых $\mu = f(v)$, выражающих зависимость коэффициента трения на задней поверхности от скорости резания, свидетельствует о том, что для различных твердых сплавов скорость резания взаимосвязана с температурой резания, которая, в свою очередь, влияет на снижение прочности контактного слоя обрабатываемого материала и приводящая к упрочнению режущей кромки за счет изменения закономерности наростообразования.

Исследования влияния инструментального материала на контактные явления на задней поверхности резца (см. рис. 2), показали, что все исследуемые образцы твердых сплавов кривые $\mu' = f(v)$ имеют экстремальный характер, так как коэффициент трения в значительной мере определяет стойкость инструмента T , наклеп H_d и высоту микронеровностей R_z , обработанной поверхности. Таким образом, можно объяснить характер кривых $H_d = f(v)$, $l_m = f(v)$ и $R_z = f(v)$.

В результате эксперимента выявлено, что точкам кривой $\mu' = f(v)$, имеющим минимальные значения соответствуют также минимальные значения интенсивности износа инструмента, наклепа и шероховатости обработанной поверхности, что говорит о том, что скорости резания, соответствующие данным точками графика, имеют оптимальное значение, а инструмент, следовательно, максимальную работоспособность. Для рассматриваемых твердых сплавов получают

следующие значения оптимальных скоростей резания и соответствующие им значения $\mu'_{\min}$.

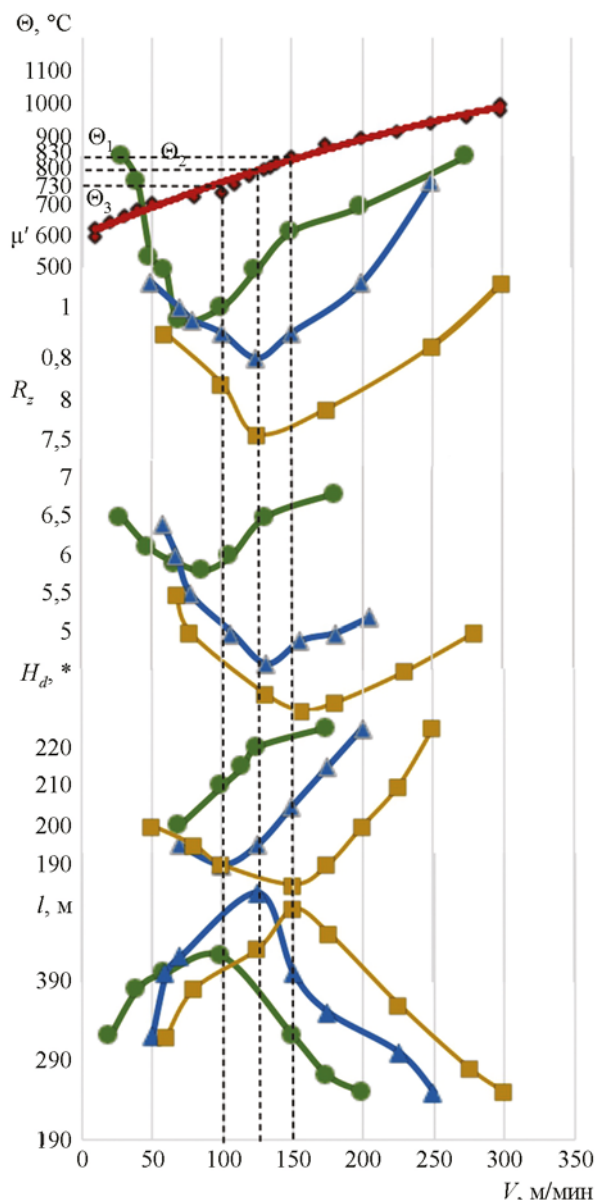


Рис. 2. Влияние инструментальных материалов ВК8 (●); Т5К10 (▲); Т14К8 (■) на контактные явления на задней поверхности реза

Таблица 3

Скорости резания и значение коэффициента трения

Твердый сплав	ВК8	Т5К10	Т14К8
v , м/мин	80	136	150
$\mu'_{\min}$	1,04	0,83	0,58

В ходе исследования выявлена интересная закономерность, кривые $\mu' = f(v)$, $H_d = f(v)$, $l_m = f(v)$ и $R_z = f(v)$ для разных твердых сплавов, вне зависимости от обрабатываемого материала имеют схожий характер. Твердый сплав ВК8 имеет самое большое значение коэффициента трения μ' , меньшее значение пути резания l_m , следовательно, более высокую

интенсивность износа, при этом худшие показатели качества, обработанной поверхности (H_d и R_z). В свою очередь, сплав Т14К8 имеет наименьшие значения показателей μ' , l , H_d и R_z . Все эти значения соответствуют определенной температуре резания, которая соответствует температуре полученной при исследовании изменения магнитных характеристик твердых сплавов, что подтверждает выдвинутое научное предположение.

Выводы. 1. Проведен литературный анализ по исследуемой тематике.

2. Проанализирована температура изменения магнитных характеристик инструментальных твердых сплавов.

3. Проведены экспериментальные исследования взаимосвязи свойств инструментальных материалов и характеристик процесса резания при токарной обработке стали 12Х18Н10Т.

4. Доказано научное предположение о взаимосвязи изменения магнитных характеристик твердого сплава и его работоспособности при обработке металлов резанием.

Список литературы

1. Бобров В. Д. Основы теории резания металлов. М.: Машиностроение. 1975. 344 с.
2. Васин С. А., Вережача А. С., Кушнер В. С. Резание материалов. Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании. М.: Изд. МГТУ им. Баумана. 2001. 448 с.
3. Вережача А. С., Кушнер В. С. Резание материалов. М.: Высш. шк. 2009. 534 с.
4. Грановский Г. И., Грановский В. Г. Резание металлов. М.: Высшая школа. 1985. 304 с.
5. Григорьев С. Н., Терешин М. В. Повышение использования ресурса инструмента путем управления процессом резания по максимальной температуре // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). № 4. С. 3–6.
6. 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.
7. Зорев Н. Н. Вопросы механики процесса резания металлов. М.: Машгиз. 1956. 368 с.
8. Кабалдин Ю. Г. Трение и износ инструмента при резании // Вестник машиностроения. 1995. № 1. С. 26–31.
9. Креймер Г. С. Прочность твердых сплавов. М.: Металлургия. 1971. 247 с.
10. Лоладзе Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. М.: Машиностроение. 1982. 320 с.
11. Макаров А. Д. Оптимизация процессов резания. М.: Машиностроение. 1976. 278 с.
12. Полетика М. Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. М.: Машиностроение. 1969. 148 с.

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

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

15. Ferri C., Minton T., Ghani S. B., Cheng K. 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.

16. 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.

17. Gupta M. K., Sood P. K., Singh G. et al. Machining of Aerospace Material – Ti (grade-2) alloy: Modelling and Optimization // *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 33. Pp. 133–138.

18. 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.

19. 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.

20. 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 // *IJUM Engineering Journal*. 2010. № 11. Pp. 124–126.

21. 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.

22. 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.

23. 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.

24. Артамонов Е. В., Васильев Д. В., 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 ТулГУ. Технические науки*. 2019. № 3. С. 544–552.

References

1. Bobrov V. D. *Osnovy teorii rezaniya metallov* [Fundamentals of the theory of metal cutting]. Moscow, Mashinostroenie, 1975, 344 p.

2. Vasin S. A., Vereshchaka A. S., Kushner V. S. *Rezanie materialov. Termomechanicheskij podhod k sisteme*

vzaimosvjazej pri rezanii [Cutting of materials. thermomechanical approach to the system of interrelations during cutting]. Moscow, BMSTU Press, 2001, 448 p.

3. Vereshchaka A. S., Kushner V. S. *Rezanie materialov* [Cutting of materials]. Moscow, Vyssh. shk., 2009, 534 p.

4. Granovsky G. I., Granovsky V. G. *Rezanie metallov* [Cutting of metals]. Moscow, Vyssh. shk., 1985, 304 p.

5. Grigoriev S. N., Tereshin M. V. Increasing the utilization of tool resources by controlling the cutting process based on maximum temperature. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, no. 4, pp. 3–6.

6. Dreval A. E., Malkova L. D. Combined influence of mechanical treatment parameters on the magnitude of cutting force components. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2007, no. 8, pp. 53–60.

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

8. Kabal'din Yu. G. Friction and tool wear during cutting. *Vestnik mashinostroenija*, 1995, no. 1, pp. 26–31.

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

10. Loladze T. N. *Prochnost' i iznosostojkost' rezhushhego instrumenta* [Strength and wear resistance of cutting tools]. Moscow, Mashinostroenie, 1982, 320 p.

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

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

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

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

15. Ferri C., Minton T., Ghani S. B., Cheng K. 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.

16. 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.

17. Gupta M. K., Sood P. K., Singh G. et al. Machining of Aerospace Material – Ti (grade-2) alloy: Modeling and Optimization. *Journal of Cleaner Production*, 2017, vol. 33, pp. 133–138.

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

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

20. 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. *IJUM Engineering Journal*, 2010, no. 11, pp. 124–126.

21. 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.

22. 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.

23. Artamonov E. V., Tveryakov A. M., Shtin A. S. Installation for diagnostics of the temperature of maximum performance of replaceable cutting inserts based on changes in the electromagnetic properties of hard alloys. *Testing. Diagnostics*, 2018, no. 12, pp. 54–57.

24. Artamonov E. V., Vasiliev D. V., Tveryakov A. M., Shtin A. S. Increasing the performance of turning cutters with replaceable cutting inserts made of hard alloys when machining gas turbine engine parts made of heat-resistant materials. *Izvestiya Tula State University. Technical Sciences*, 2019, no. 3, pp. 544–552.

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 621.45.038.72

М. А. ВОЛОСОВА, д-р техн. наук; **А. С. МЕТЕЛЬ**, д-р физ.-мат. наук; **Т. Б. ТЮРБЕЕВА**, канд. техн. наук; **В. А. ГАПОНОВ**, аспирант (МГТУ «СТАНКИН», г. Москва)

E-mail:

М. А. Volosova, A. S. Metel, T. B. Tyurbееva, V. A. Gaponov (MSUT «STANKIN», Moscow)

Эффективность применения графеносодержащего электролита при микродуговом оксидировании титанового сплава, полученного селективным лазерным плавлением

Effectiveness of using graphene-containing electrolyte in microarc oxidation titanium alloy manufactured by selective laser melting

Представлены результаты исследования эффективности введения добавок оксида графена в состав электролита при микродуговом оксидировании титанового сплава ВТ6, полученного селективным лазерным плавлением. Выполнена оценка износостойкости поверхностного слоя образцов, оксидированных при различных концентрациях оксида графена, в условиях абразивного истирания и трения-скольжения, а также коррозионной стойкости при воздействии на поверхностный слой водного раствора хлорида натрия. Установлено, что в сравнении с использованием базового электролита присутствие добавок оксида графена не оказывает значительного влияния на сопротивление поверхностного слоя сплава ВТ6 изнашиванию при абразивном воздействии, в то время как модификация покрытий оксидом графена обеспечивает значительное снижение коэффициента трения и интенсивности изнашивания при трении-скольжении. Кроме того, для покрытий, полученных на образцах из сплава ВТ6 в присутствии оксида графена, установлена более высокая коррозионная стойкость.

The article presents the results of a study on the effectiveness of introducing graphene oxide additives into the electrolyte composition during the microarc oxidation of VT6 titanium alloy obtained by selective laser melting. The wear resistance of the surface layer of samples oxidized at various graphene oxide concentrations under abrasive wear and sliding friction conditions, as well as the corrosion resistance when the surface layer is exposed to an aqueous sodium chloride solution, are assessed. It is found that, compared to the use of a base electrolyte, the presence of graphene oxide additives does not significantly affect the wear resistance of the VT6 alloy surface layer under abrasive wear, while modification of the coatings with graphene oxide provides a significant reduction in the friction coefficient and wear intensity under sliding friction. Furthermore, higher corrosion resistance was established for coatings obtained on VT6 alloy samples in the presence of graphene oxide.

Ключевые слова: микродуговое оксидирование; электролит; оксид графена; титановый сплав; селективное лазерное плавление; износостойкость.

Keywords: microarc oxidation; electrolyte; graphene oxide; titanium alloy; selective laser melting; wear resistance.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект № FSFS-2025-0006)

Технологические процессы плазменно-электролитной обработки, в частности микродугового оксидирования (МДО), уже много лет считаются высокоэффективным подходом для создания износостой-

ких слоев на поверхности легких конструкционных сплавов. Область промышленного применения МДО для формирования функциональных покрытий постоянно расширяется, так как этот процесс обладает

рядом преимуществ, выгодно отличающих его от альтернативных технологий формирования покрытий.

Главные преимущества МДО среди многообразия известных и используемых для нужд машиностроения подходов, заключаются в отсутствии необходимости применения токсичных реагентов, доступности расходных материалов, обеспечении высоких скоростей формирования модифицированных слоев, возможности обработки поверхностей сложного профиля и получении широкой гаммы керамикоподобных покрытий, формируемых из соединений и элементов основного (конструкционного) материала и составляющих электролитов, в т. ч. добавляемых в них порошковых и других компонентов.

Физическая природа процесса МДО открывает широкие возможности для управления процессами порообразования, формирования требуемого микрорельефа поверхностного слоя, что позволяет получить промежуточные керамикоподобные слои со структурными и физико-механическими характеристиками, наилучшим образом подходящими для защиты от различных видов изнашивания (абразивного, коррозионного и др.).

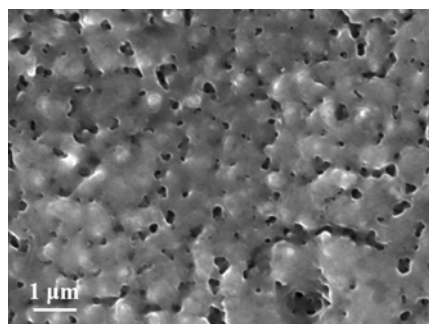
Результаты авторитетных исследований показывают, что наряду с традиционными подходами к улучшению характеристик формируемых керамикоподобных покрытий, в т. ч. повышению их плотности, трещиностойкости и снижению пористости, достигаемых посредством варьирования плотности тока, оптимизации растворов, используемых в качестве электролитов, и др., наиболее перспективным направлением является модифицирование формируемых покрытий за счет использования керамических и углеродных субмикронных и наночастиц, диспергируемых в электролитах.

Например, в работе [1] показано, что использование частиц ZrO_2 позволяет «запечатывать» поры и получать плотные покрытия с улучшенными антифрикционными свойствами. В другом исследовании показано, что уменьшение пористости формируемых

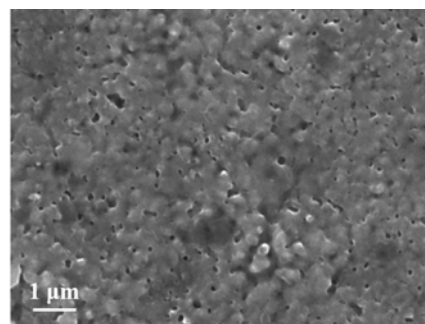
покрытий может быть достигнуто их модифицированием путем добавления частиц SiO_2 [2]. Однако сложность диспергирования керамических частиц в электролите пока является узким местом, ограничивающим применение указанного подхода и определяющим необходимость дальнейших исследований.

Особый интерес среди ученых сегодня вызывают исследования, связанные с использованием различных углеродосодержащих добавок (углеродных нанотрубок, фуллеренов, графена и др.). Например, в работе [3] на примере алюминиевого сплава Д16 исследовано влияние добавления интеркаляционного соединения графеноподобного углерода (ГУ) на основные характеристики сформированного покрытия. Установлено, что ГУ, вводимый в силикатно-щелочные электролиты, интенсифицирует микроплазменные процессы и позволяет в зависимости от концентрации используемой добавки увеличить толщину формируемого покрытия до 2 раз. Исследованиями, представленными в работе [4], установлено, что использование при МДО наночастиц оксида графена, добавляемых в электролит, на 15 % снижает скорость абразивного изнашивания образцов из сплава Д16 по сравнению с образцами с покрытиями, полученными МДО без добавок. В работе [5] объектом исследования является магниево-литиевый сплав. Показано, что использование оксидов графена в качестве добавок способно увеличить плотность поверхностного слоя и значительно повысить его сопротивление коррозионному изнашиванию.

В МГТУ «СТАНКИН» получены перспективные результаты, связанные с использованием в качестве добавок в электролит частиц оксида графена (GO), позволяющих заметно снизить размер пор в поверхностном слое титанового сплава, формируемом в процессе МДО, которые увеличивают риск преждевременного микроразрушения покрытия при воздействии механических нагрузок и снижающих коррозионную стойкость. На рис. 1 приведены SEM-изображения поверхности образцов из титанового



а)



б)

Рис. 1. SEM-изображения микроструктуры поверхности образцов из титанового сплава ВТ6 после МДО в базовом электролите (а) и при добавлении оксида графена (б)

сплава ВТ6 после МДО в электролите на основе щелочного раствора (3 г/л KOH) и сульфата никеля (2 г/л $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) без добавления частиц и при использовании GO в концентрации 0,5 г/л. Видно, что использование графеносодержащего электролита (ГСЭ) способно обеспечить минимизацию диаметра пор и увеличить плотность покрытия. Важным преимуществом использования GO является возможность диспергирования его добавок и получения ГСЭ благодаря присутствию кислородосодержащих групп.

Известные работы в области применения ГСЭ для модификации поверхностного слоя, формируемого при МДО из конструктивных титановых сплавов, касаются материалов, полученных традиционными технологиями заготовительного производства. Исследования, связанные с МДО образцов, полученных аддитивными технологиями – селективным лазерным (СЛП), электронно-лучевым плавлением и др., пока еще находятся на начальном этапе развития [6–8]. Однако это направление уже признано перспективным для использования в качестве постобработки изделий аддитивного производства.

Цель данной работы – исследование влияния добавок оксида графена в электролит при микродуговом окислении титанового сплава ВТ6, полученного технологией СЛП, на износостойкость поверхностного слоя образцов при абразивном истирании, в условиях трения-скольжения и коррозионную стойкость.

Методики экспериментальных исследований

Для проведения экспериментальных исследований использовалась созданная в МГТУ «СТАНКИН» опытная автоматизированная технологическая установка (см. рис. 2) для проведения МДО в анод-

но-катодном режиме с программно регулируемым отношением катодного и анодного токов и других параметров процесса [9].

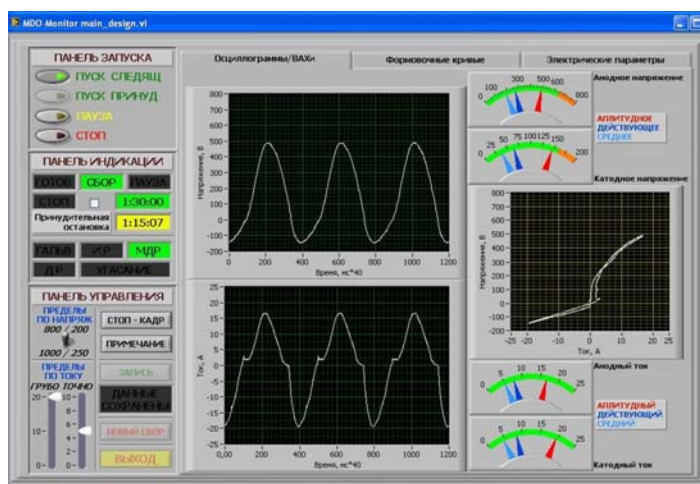
Образцы для исследований изготавливаются из порошков титанового сплава ВТ6 и получены технологией СЛП на установке *Farsoon FS121M*. В качестве объектов для МДО используются экспериментальные образцы в форме дисков диаметром 20 мм и высотой 5 мм. Рабочей средой при МДО является электролит на основе метасиликата натрия (10 г/л $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) и гипофосфита натрия (5 г/л $\text{Na}(\text{PH}_2\text{O}_2) \cdot \text{H}_2\text{O}$) с добавками суспензии GO в концентрации 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 и 1 г/л. Для получения частиц GO используется модифицированный метод Хаммерса [10]. МДО образцов из титанового сплава выполняется в анодно-катодном режиме при соотношении токов 1:1 от источника питания переменного тока 50 Гц, плотности тока 20 А/дм² в течение 40 мин (температура электролита поддерживалась на уровне 25–30 °С).

Общий вид экспериментального образца-диска из сплава ВТ6 после проведения МДО при добавлении в электролит GO в концентрации 0,6 г/л, а также EDX-изображение распределения элементов в поверхностном слое образца, полученное на сканирующем электронном микроскопе *KYKA-EM3200*, приведены на рис. 3. Можно увидеть, что углерод из оксида графена вместе с титаном и кислородом, легирующими элементами сплава ВТ6 (Al и V), а также элементами электролита (Si, P, Na), входят в состав сформированного покрытия.

Исследования микротвердости образцов выполняется в автоматическом режиме на твердомере *QNESS Q10A* при вдавливании пирамиды Виккерса с нагрузкой 1,9 Н.



а)



б)

Рис. 2. Общий вид созданной в МГТУ «СТАНКИН» автоматизированной установки для МДО в анодно-катодном режиме (а) и интерфейс программного управления обработкой (б)

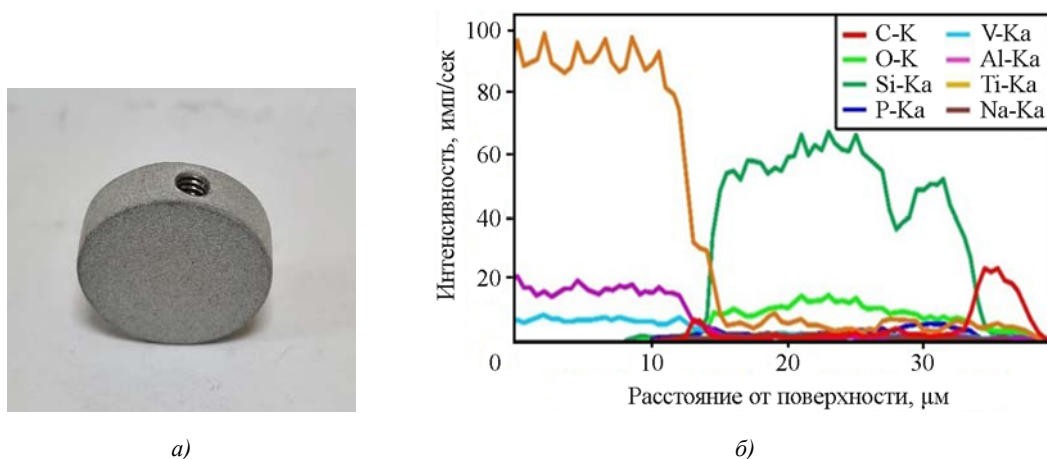


Рис. 3. Общий вид экспериментального образца из сплава ВТ6 после МДО с добавками GO (а) и EDX-изображение распределения элементов в поверхностном слое образца (б)

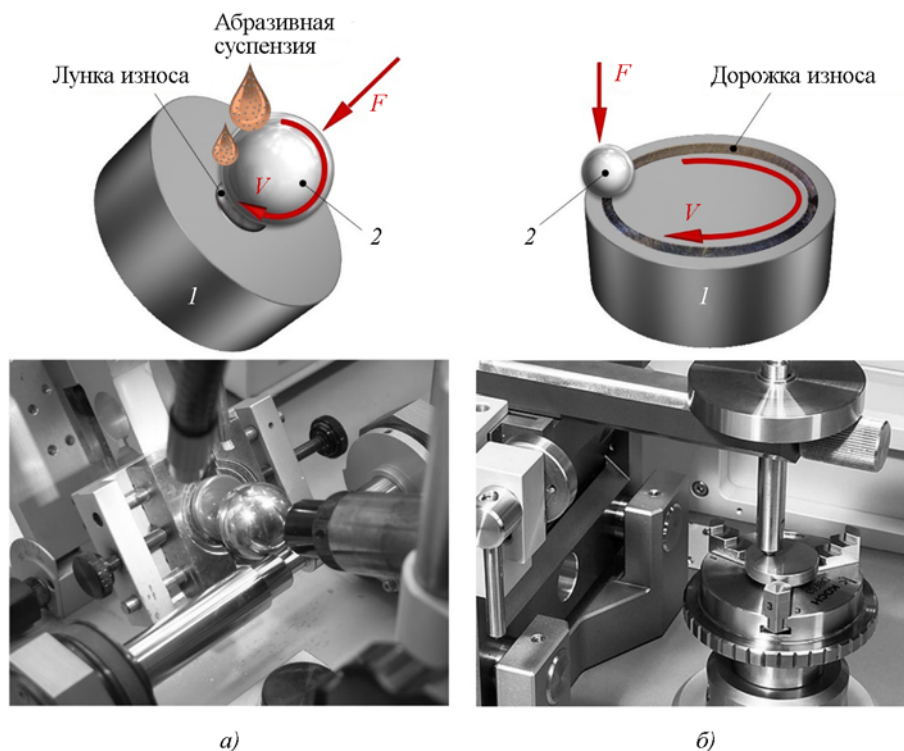


Рис. 4. Принципиальные схемы и устройства для оценки износостойкости образцов после МДО в условиях абразивного истирания (а) и трения-скольжения (б):

1 – образцы из титанового сплава; 2 – контртела из закаленной стали

Исследования износостойкости образцов после МДО производятся по двум различным методикам (см. рис. 4). В первом случае оценивается износ поверхностного слоя образцов в условиях абразивного воздействия с использованием системы *Calowear*, *CSM Instruments*. На образец, закрепленный в тисках, с силой 0,5 Н воздействует вращающееся со скоростью 59,5 м/мин контртело в виде сферы диаметром 20 мм из закаленной стали ШХ15, а в зону контакта контртел подается алмазная суспензия (время испытаний составляло 20 мин). Сканирование изно-

шенной поверхности осуществляется контактным стилусом на профилометре *Dektak XT*.

Во втором случае оценивается износ поверхностного слоя образцов при трении-скольжении по схеме «шар-диск» с использованием системы *THT-S-AX0000*, *Anton Paar TriTec*. Испытания выполняются при вращении дисков из титанового сплава относительно неподвижного контртела в виде шарика из закаленной стали ШХ15 диаметром 6 мм при нагрузке 10 Н и скорости скольжения 2 см/сек. Изучаются коэффициент трения в зоне контакта и

профили дорожек, сформировавшихся на образцах, посредством контактного сканирования на профилометре *Dektak XT*.

Исследования коррозионных свойств образцов после МДО проводятся потенциодинамическим методом в 0,9 % водном растворе NaCl при температуре 37 °C [11]. Коррозионная стойкость образцов оценивается путем сравнения стационарных потенциалов и плотностей тока пассивного состояния для сплава ВТ6 в исходном состоянии и после проведения МДО с различными концентрациями ГО в электролите.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты исследования микротвердости образцов показывают, что введение добавок ГО в состав электролита оказывает малозначимое влияние на изменение данного показателя для титанового сплава, полученного СЛП. Так, если после базового МДО твердость сплава ВТ6 увеличивается в 1,3 раза (с 368 до 479 единиц), то применение ГО в концентрациях 0,2–1 г/л обеспечивает повышение микротвердости лишь на 2–7 % относительно образцов после МДО без добавок.

Анализ очагов износа, сформировавшихся в условиях абразивного истирания поверхностного слоя образцов из титанового сплава после МДО (см. рис. 5) также не выявляет значительного улучшения износостойкости образцов при использовании ГО в процессе МДО. Объемы изношенных лунок для образцов, обработанных при исследуемых концентрациях ГО,

сопоставимы с очагом износа, формирующимся на образце, подвергнутому базовому варианту МДО. С учетом отмеченного выше незначительного влияния применения ГО на микротвердость поверхностного слоя образцов, этот результат предсказуем, поскольку устойчивость к абразивному износу материала, в первую очередь, определяется его твердостью (чем выше твердость, тем меньше глубина врезания или смятия при взаимодействии с контртелом и твердыми абразивными частицами).

Результаты проведенных трибологических исследований в условиях трения-скольжения демонстрируют положительный эффект от добавок ГО в состав электролита. На рис. 6 приведено изменение коэффициента трения при комнатной температуре с увеличением дистанции трения-скольжения неполитрованных образцов из титанового сплава после различных вариантов МДО.

Видно, что кривые коэффициента трения для всех образцов на этапе приработки (до 500 м) имеют большую амплитуду колебаний, а затем стабилизируются для образцов, обработанных при концентрации ГО 0,4, 0,6 и 0,8 г/л. Коэффициент трения для образцов после базовой МДО на стадии установившегося изнашивания составляет 0,35–0,6 с тенденцией к снижению после 1500 м дистанции. Для образцов, обработанных при концентрации ГО 0,2 и 1 г/л, коэффициент трения варьируется на уровне 0,2–0,45 и 0,3–0,5, соответственно, с тенденцией к снижению после 2000 м дистанции. Другой характер

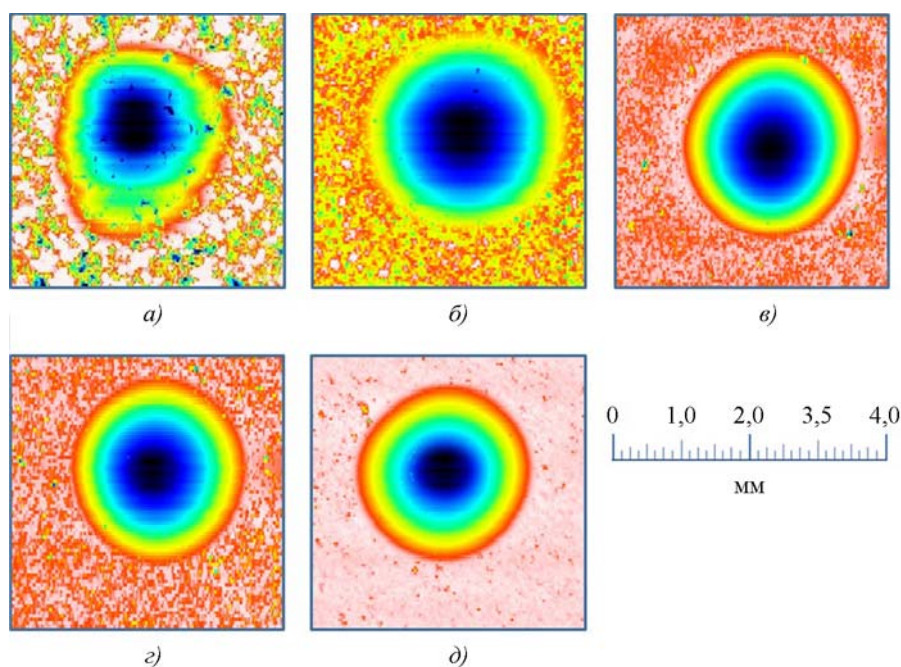


Рис. 5. 2D-изображения очагов износа, сформировавшихся при абразивном истирании поверхностного слоя образцов из титанового сплава после МДО:

а – без добавления ГО; б, в, г, д – 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 ГО, соответственно

наблюдается для покрытий, сформированных в присутствии GO в концентрациях 0,4, 0,6 и 0,8 г/л. После некоторой приработки коэффициент трения для этих образцов стабилизируется и на протяжении всего последующего периода испытаний составляет около 0,2–0,22 (наименьшее значение зафиксировано у образцов после МДО с добавками GO в концентрации 0,6 г/л). Более низкое значение коэффициента трения образцов указывает на то, что усилие, необходимое для возникновения скольжения между контртелами, значительно меньше, чем сила сопротивления перемещению контртела. Можно предположить, что между образцами из титанового сплава с покрытиями, сформированными при добавках GO в концентрациях 0,4, 0,6 и 0,8 г/л, и стальным контртелом отсутствует интенсивное адгезионное схватывание, как результат межмолекулярного взаимодействия, что, по-видимому объясняется наличием более устойчивой граничной смазки в зоне трибоконтакта.

Описанные выше особенности при контактном взаимодействии поверхностного слоя образцов из титанового сплава после МДО наглядно иллюстрируются профилограммами и 2D-изображениями дорожек износа, сформировавшихся при трении-скольжении в условиях комнатной температуры (см. рис. 7).

Видно, что в результате контактного взаимодействия у образца после базовой МДО формируется дорожка износа шириной и глубиной около 600 и 5 мкм, соответственно. Установлено, что присутствие в электролите GO при исследованном диапазоне концентраций обеспечивает снижение глубины дорожек износа. Для образцов из титанового сплава с покрытиями, сформированными в присутствии GO в концентрациях 0,2 и 1,0 г/л установленный эффект является достаточно существенным (глубина дорожек составляет 2,4–2,7 мкм). Минимальная глубина дорожек износа (1,3–1,6 мкм) наблюдается для образцов из титанового сплава с покрытиями, сформиро-

ванными в присутствии GO в концентрациях 0,4, 0,6 и 0,8 г/л. В частности, глубина дорожки износа у образца после МДО в присутствии GO в концентрации 0,6 г/л составляет 1,3 мкм. Полученные результаты, представленные на рис. 7 коррелируют с данными об изменении коэффициентов трения для образцов после МДО (см. рис. 6). Присутствие в зоне контакта покрытия, модифицированного GO, с минимальным коэффициентом трения эффективно защищает поверхностный слой от межмолекулярного взаимодействия со стальным контртелом и связанного с ним изнашивания.

Результаты исследования коррозионных свойств образцов из титанового сплава после МДО в виде анодных поляризационных кривых приведены на рис. 8. Известно, что чем ниже плотность тока и выше величина потенциала, тем выше коррозионные свойства исследуемых образцов. Видно, что применение базового варианта МДО сплава ВТ6 приводит к увеличению стационарного потенциала, смещению его в область положительных значений, а также обеспечивает значительное снижение плотности тока в пассивной области. Применение GO в концентрации 1 г/л не обеспечивает заметного изменения в характере поляризационных кривых относительно образцов после МДО без добавок. Установлено, что у образцов из титанового сплава с покрытиями, сформированными в присутствии GO в концентрациях 0,4 и 0,6 г/л, защитная способность возрастет в сравнении с обработкой в базовом электролите. На рис. 8 отмечается еще больший сдвиг потенциала в область положительных значений при одновременном снижении плотности тока. Отмеченное, по-видимому, связано со снижением пористости и увеличением плотности покрытий, формируемых при добавках в электролит GO в концентрации 0,4–0,6 г/л, обеспечивающих более высокую коррозионную стойкость титанового сплава ВТ6.

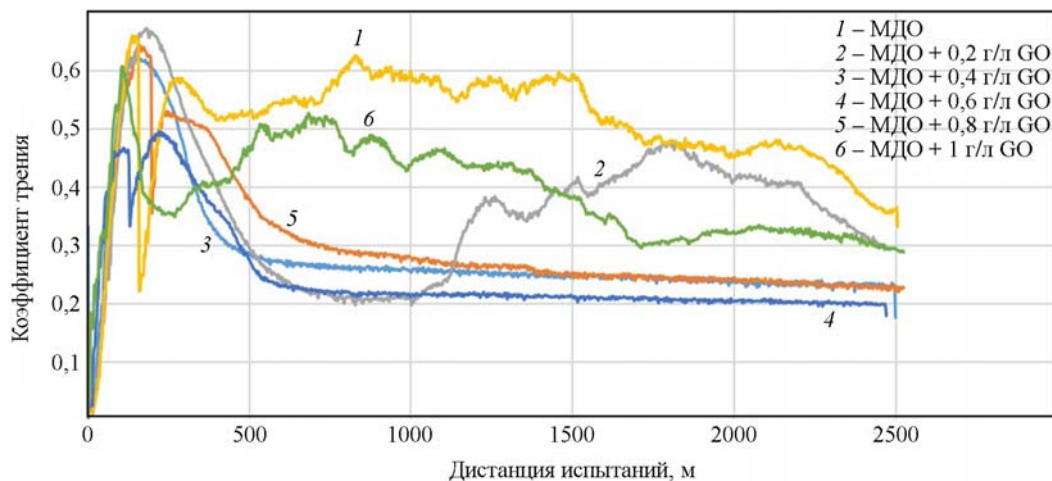


Рис. 6. Изменение коэффициента трения с увеличением дистанции трения-скольжения для образцов из титанового сплава после МДО

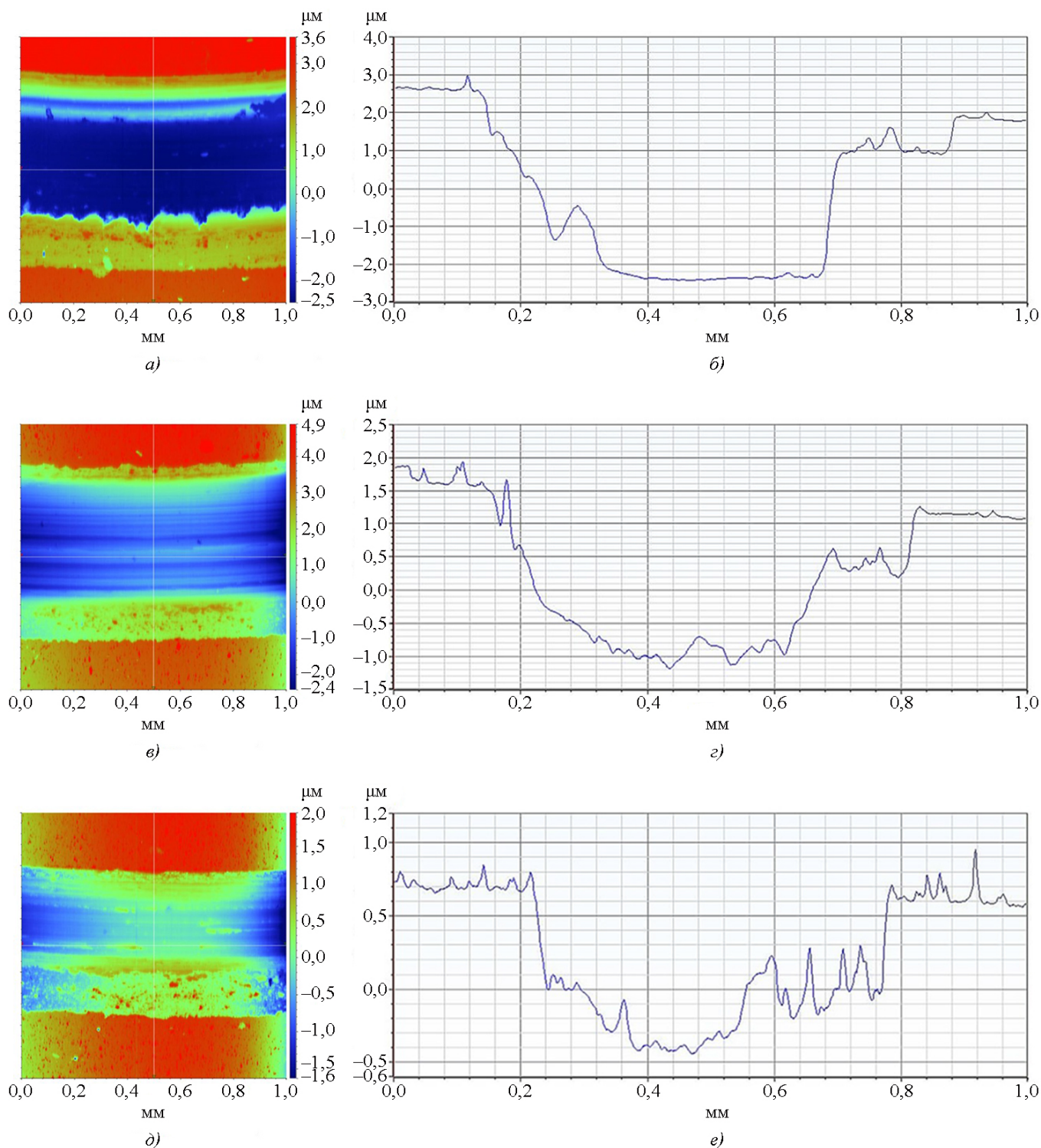


Рис. 7. 2D-изображения дорожек износа (а, в, д) и их профилограммы (б, г, е), сформировавшихся при трении-скольжении образцов из титанового сплава после МДО:

а, б – без добавления GO; в, г – 0,2 GO; д, е – 0,6 GO

Выводы. 1. Использование различных углеродосодержащих добавок в электролитах при микродуговом окислении является перспективным направлением для дальнейшего улучшения функциональных свойств покрытий, формируемых на титановых сплавах типа ВТ6, в т. ч. полученных селективным лазерным плавлением. Показано, что использова-

ние графеносодержащего электролита способно обеспечить значительное уменьшение пористости покрытий, интенсифицирующей микроразрушение поверхностного слоя при воздействии механических нагрузок и негативно влияющий на его коррозионную стойкость.

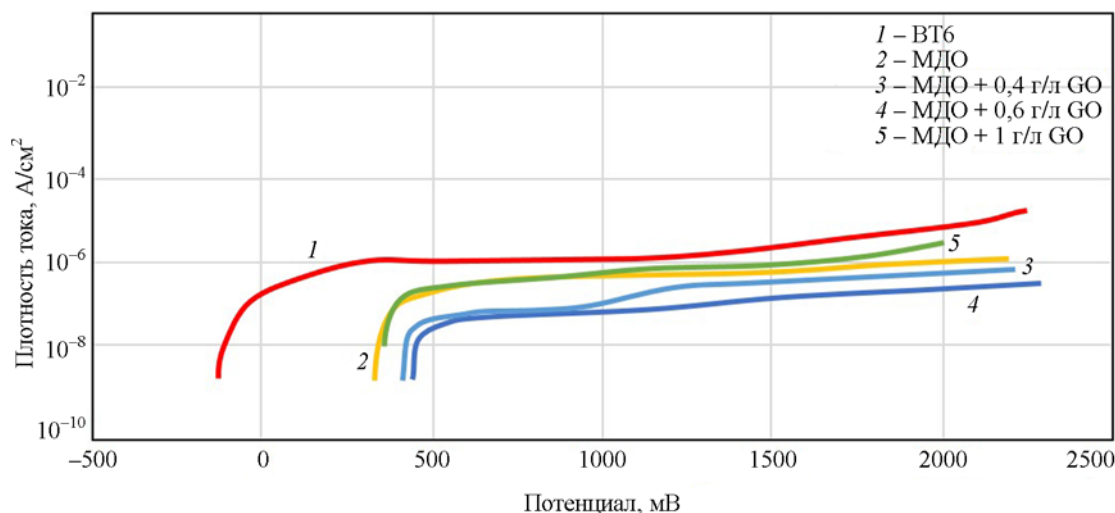


Рис. 8. Анодные поляризационные кривые образцов из титанового сплава после МДО

2. Экспериментально установлено, что добавление в силикатно-гипофосфитный электролит оксида графена в концентрациях 0,2–1 г/л не оказывает значительного влияния на сопротивление поверхностного слоя сплава ВТ6 изнашиванию при абразивном воздействии в сравнении с использованием при микродуговом оксидировании базового электролита.

3. При другом характере действующих нагрузок (в условиях трения-скольжения) выявлен существенный положительный эффект от введения оксида графена в состав электролита. Экспериментально установлено, что модификация покрытий оксидом графена обеспечивает снижение коэффициента трения и объема изношенных дорожек, формирующихся при взаимодействии поверхностного слоя с контртелом. При этом наименьшие коэффициент трения и интенсивность изнашивания были выявлены у покрытий, сформированных на образцах из сплава ВТ6 в процессе микродугового оксидирования при добавке в электролит оксида графена в концентрации 0,6 г/л, обеспечившей более устойчивую граничную смазку в зоне трибоконтакта.

4. Кроме того, значительная эффективность использования графеносодержащего электролита при микродуговом оксидировании экспериментально установлена в условиях воздействия на поверхностный образец из сплава ВТ6 водного раствора хлорида натрия, выступающего в качестве коррозионной среды. Для образцов с покрытиями, сформированными в присутствии оксида графена в концентрации 0,4 и 0,6 г/л, выявлен заметный сдвиг стационарного потенциала в область положительных значений при одновременном снижении плотности тока, свидетельствующих о более высокой коррозионной стойкости образцов из сплава ВТ6 в сравнении с обработкой в базовом электролите.

Список литературы

1. Qi X., Li J., He Y. et al. Study on the wear resistance and corrosion behaviour of self-sealed MAO/ZrO₂ coatings prepared on 7075 aluminium alloy // Journal of Alloys and Compounds. 2023. Vol. 969. Pp. 172436.
2. Li W., Chen Q., Shen D. et al. Composites MAO coating with SiO₂ particles on TA2 alloy by laser treatment // Surface and Coatings Technology. 2023. Vol. 472. Pp. 129966.
3. Комаров А. И., Золотая П. С., Горбачук Н. И. О роли графеноподобного углерода в формировании покрытий методом микродугового оксидирования // Механика машин, механизмов и материалов. 2020. № 1 (50). С. 72–76.
4. Borisov A. M., Volosova M. A., Vorobyeva E. A. et al. Plasma-electrolytic synthesis of nanostructured graphene-containing composite coatings on D16 alloy // Letters on Materials. 2024. Vol. 14. № 4 (56). P. 468–474.
5. Chen Y., Wu L., Yao W. et al. Growth behavior and corrosion resistance of graphene oxide/MgAl Layered double hydroxide coating grown on micro-arc oxidation film of magnesium alloys // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2023. Vol. 117. Pp. 319–332.
6. Крихели Н. И., Крамар О. В., Перетягин Н. Ю. и др. Исследование свойств покрытий, сформированных микродуговым оксидированием на титановом сплаве в электролитах с различным содержанием оксида графена // Вестник МГТУ «Станкин». 2023. № 4 (67). С. 29–35.
7. Grigoriev S., Peretyagin N., Apelfeld A. et al. Investigation of Tribological Characteristics of PEO Coatings Formed on Ti6Al4V Titanium Alloy in Electrolytes with Graphene Oxide Additives // Materials. 2023. Vol. 16. № 11. Pp. 3928.
8. Grigoriev S., Peretyagin N., Smirnov A. et al. Investigation of MAO Coatings Characteristics on Titanium Products Obtained by EBM Method Using Additive Manufacturing // Materials. 2022. Vol. 15. № 13. Pp. 4535.
9. Эпельфельд А. В., Людин В. Б., Суминов И. В. и др. Плазменно-электролитная обработка. Микродуговое оксидирование: уч. пособ. М.: МГТУ «СТАНКИН». 2020. 193 с.
10. Таратайко А. В., Мамонтов Г. В. Синтез оксида графена по модифицированному методу Хаммерса // Вест-

ник Томского государственного университета. Химия. 2023. № 30. С. 67–79

11. Ильин А. А., Федирко В. Н., Мамонов А. М. и др. Влияние комплексных технологий обработки на структурное состояние поверхности и эксплуатационные свойства медицинских имплантатов из титанового сплава BT6 // Титан. 2014. № 4 (46). С. 4–11.

References

1. Qi X., Li J., He Y. et al. Study on the wear resistance and corrosion behaviour of self-sealed MAO/ZrO₂ coatings prepared on 7075 aluminium alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 2023, vol. 969, pp. 172436.

2. Li W., Chen Q., Shen D. et al. Composited MAO coating with SiO₂ particles on TA2 alloy by laser treatment. *Surface and Coatings Technology*, 2023, vol. 472, pp. 129966.

3. Komarov A. I., Zolotaya P. S., Gorbachuk N. I. On the role of graphene-like carbon in the formation of coatings by microarc oxidation. *Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials*, 2020, no. 1 (50), pp. 72–76.

4. Borisov A. M., Volosova M. A., Vorobyeva E. A. et al. Plasma-electrolytic synthesis of nanostructured graphene-containing composite coatings on D16 alloy. *Letters on Materials*. 2024, vol. 14, no. 4 (56), pp. 468–474.

5. Chen Y., Wu L., Yao W. et al. Growth behavior and corrosion resistance of graphene oxide/MgAl Layered double hydroxide coating grown on micro-arc oxidation film of

magnesium alloys. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2023, vol. 117, pp. 319–332.

6. Krikheli N. I., Kramar O. V., Peretyagin N. Yu. et al. Study of the properties of coatings formed by microarc oxidation on a titanium alloy in electrolytes with different graphene oxide contents. *Vestnik MSUT «Stankin»*, 2023, no. 4 (67), pp. 29–35.

7. Grigoriev S., Peretyagin N., Apelfeld A. et al. Investigation of Tribological Characteristics of PEO Coatings Formed on Ti6Al4V Titanium Alloy in Electrolytes with Graphene Oxide Additives. *Materials*, 2023, vol. 16, no. 11, pp. 3928.

8. Grigoriev S., Peretyagin N., Smirnov A. et al. Investigation of MAO Coatings Characteristics on Titanium Products Obtained by EBM Method Using Additive Manufacturing. *Materials*, 2022, vol. 15, no. 13, pp. 4535.

9. Epelfeld A. V., Lyudin V. B., Suminov I. V. et al. *Plazmenno-elektrolitnaja obrabotka. Mikrodogovoe oksidirovanie* [Plasma-electrolyte treatment. Microarc oxidation: manual]. Moscow: MSUT «STANKIN», 2020, 193 p.

10. Tarataiko A. V., Mamontov G. V. Synthesis of graphene oxide by the modified Hummers method. *Tomsk state university journal of chemistry*, 2023, no. 30, pp. 67–79

11. Ilyin A. A., Fedirko V. N., Mamonov A. M. et al. Influence of complex processing technologies on the structural state of the surface and performance properties of medical implants made of VT6 titanium alloy. *Titan*, 2014, no. 4 (46), pp. 4–11.

УДК 62-1/-9

В. С. Огурцов (Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург)

E-mail:

V. S. Ogurtsov (St. Petersburg Mining University, Saint Petersburg)

Анализ свойств аналогов фотополимеров для внедрения аддитивных технологий в консервативное производство шестерен гальванического барабана

Analysis of the properties of photopolymer analogues for the introduction of additive technologies in the conservative production of galvanic barrel plating

Представлен результат анализа свойств аналогов фотополимеров для разработки нового технологического процесса изготовления детали типа шестерня гальванического барабана методом 3D-печати. Для замены фторопласта нет прямого аналога среди фотополимеров из-за его уникального сочетания низкого трения и высокой термостойкости. Полипропилен лучше всего заменяется ABS-подобной смолой по показателям пластичности, хотя прочность его немного ниже. Полиацеталь не имеет хороших фотополимерных аналогов из-за значительно более высоких прочностных характеристик. Капролон может быть частично заменен Tough 2.0 UV Flexible по сочетанию жесткости и ударопрочности, но с учетом меньшей прочности фотополимера. Полученные результаты

подтверждают, что Tough 2.0 UV Flexible сочетает в себе достаточную жесткость для конструкционного применения с уникальной для фотополимеров способностью к значительным пластическим деформациям. Такой комплекс свойств делает данный материал особенно перспективным для создания функциональных прототипов и конечных изделий, работающих в условиях ударных и циклических нагрузок. Для внедрения новой технологии лучше всего использовать ABS-like смолу.

The article presents the result of an analysis of the properties of photopolymer analogues for the development of a new technological process for manufacturing gear parts for galvanic barrel plating using 3D printing. There is no direct analogue among photopolymers to replace fluoroplast due to its unique combination of low friction and high temperature resistance. Polypropylene is best replaced by ABS-like resin in terms of ductility, although its strength is slightly lower. Polyacetal does not have good photopolymer analogues due to its significantly higher strength characteristics. Nylon can be partially replaced by Tough 2.0 UV Flexible in terms of a combination of rigidity and impact resistance, but taking into account the lower strength of the photopolymer. The results obtained confirm that Tough 2.0 UV Flexible combines sufficient rigidity for structural applications with the unique ability of photopolymers to undergo significant plastic deformations. This set of properties makes this material particularly promising for creating functional prototypes and end products operating under shock and cyclic loads. To implement the new technology, it is best to use ABS-like resin.

Ключевые слова: 3D-печать; аддитивные технологии; модель; шестерня; гальванический барабан; режимные параметры; фотополимерные смолы; аналоги фотополимеров; модуль упругости; предел текучести; предел прочности; относительное удлинение; деформация.

Keywords: 3D printing; additive technologies; model; gear; galvanic barrel plating; operating parameters; photopolymer resins; photopolymer analogues; modulus of elasticity; yield strength; tensile strength; elongation; deformation.

В данный момент машиностроение нуждается в автоматизации производства, особенно для изготовления сложных деталей мелких серий, таких как шестерни гальванических барабанов. Консервативный путь производства шестерен подразумевает многоэтапную, ресурсоемкую последовательность из шести основных операций: заготовительной, токарной, зубодолбежной или зубофрезерной, сверлильной, слесарной и финальной контрольной операции. Процесс требует разнообразного парка специализированного оборудования, значительных временных затрат на межоперационные перемещения и переналадку станков, высокой квалификации операторов и сопровождается существенным объемом стружки – отходов материала.

В результате проведенного исследования изготовлена и апробирована технология изготовления шестерни гальванического барабана посредством метода фотополимерной печати, что сокращает многооперационный процесс до одной технологической стадии послойного синтеза. Перспективность внедрения в производство подобных технологий утверждается в распоряжении Правительства РФ от 14 июля 2021 г. № 1913-р «О стратегии развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года (с изменениями на 21 октября 2024 года)» [1], в исследованиях современных ученых [2–4]. Изучение свойств материалов для изготовления детали методом 3D-печати является не менее значительным

этапом работы по внедрению аддитивных технологий в производство. В данной статье предложены результаты изучения свойств аналогов фотополимеров для внедрения аддитивных технологий в консервативное производство шестерен гальванического барабана.

Методика данного исследования строится на комплексном подходе, сочетающем теоретический анализ существующих научных разработок в области аддитивных технологий и последующее экспериментальное изучение механических характеристик полученных образцов. Первый этап исследования предполагает всесторонний анализ научной литературы, патентных источников и технической документации, посвященной вопросам 3D-печати и механическим свойствам традиционных полимерных материалов. Особое внимание уделяется изучению технологических параметров процесса стереолитографии (SLA/DLP/MSLA), влияющих на конечные механические характеристики изделий, таких как мощность УФ-излучения, время экспонирования, температура полимеризации, толщина слоя и параметры постобработки. Подробно особенности процессов стереолитографии (SLA) и цифровой светодиапроекции (DLP) описаны в источниках [5, 6]. Параллельно проводится анализ данных о механических свойствах сравниваемых материалов – полипропилена, фторопласта и т.п. с акцентом на их прочностные характеристики при растяжении. В исследовании использованы данные о материалах

для 3D-печати работ [6–9], а также данные электронного ресурса «Сравнение *ABS*, *PLA*, *SBS*, *PETG*. Различия пластиков: свойства, хранение, применение» [10]. Безусловно, учитываются основные положения ГОСТ Р 57586–2017 «Изделия, полученные методом аддитивных технологических процессов. Общие требования» [11].

Экспериментальная часть исследования начинается с подготовки образцов для испытаний. Образцы из фотополимерных смол изготовлены на принтере стереолитографического типа в соответствии с ГОСТ 11262–2017 (тип 1А, 1В) [12], при этом строго контролируются все технологические параметры процесса: ориентация модели в рабочей камере, поддерживающие структуры, параметры экспонирования и постполимеризации. Для каждого типа фотополимерной смолы (стандартной, ударопрочной и гибкой) изготавливается не менее трех идентичных образцов для обеспечения статистической значимости результатов. Образцы из традиционных полимеров (полипропилена, фторопласта и полиацетала) вырезаются из листового материала с помощью лазерной резки или механической обработки с соблюдением тех же геометрических параметров.

Механические испытания проводятся на универсальной испытательной машине в соответствии с методикой по ГОСТ 34370–2017. Каждый образец подвергается статическому растяжению с постоянной скоростью деформации до разрушения. В процессе испытаний фиксируются следующие параметры: модуль упругости, предел текучести, предел прочности при растяжении, относительное удлинение при разрыве и энергия разрушения. Для минимизации влияния внешних факторов все испытания проводятся при стандартных условиях температуры (23 ± 2 °С) и влажности (50 ± 5 %). Полученные данные подвергаются статистической обработке с расчетом средних значений, стандартного отклонения и доверительных интервалов.

Результаты экспериментального исследования сопоставляются с данными, полученными в ходе анализа литературы, что позволяет оценить степень соответствия механических характеристик 3D-печатных образцов из фотополимерных смол свойствам традиционных полимерных материалов, а также выявить влияние технологических параметров 3D-печати на конечные свойства изделий. Заключительным этапом исследования становится разработка практических рекомендаций по выбору фотополимерных материалов для различных инженерных применений на основе сравнения их механических характеристик с традиционными полимерами.

Следуя методике исследования, получены образцы, которые можно увидеть на рис. 1. Образцы из-

готовлены в соответствии с ГОСТ 11262–2017 (тип 1А, 1В) [12] на фотополимерном 3D-принтере *Elegoo Saturn 3 Ultra*. Всего сделано по три образца каждого типа из различных фотополимерных смол.



Рис. 1. Образцы типа 1А, 1В по ГОСТ 11262–2017

Образцы типа 1А более короткие, чем образцы типа 1В. Зеленые образцы выполнены из фотополимерной смолы *Tough 2.0 UV Flexible* (ударопрочной, гибкой), бесцветные – из смолы *ABS-like* (высокопластичной), а в сером цвете – из стандартной смолы *Plant-Based* (на растительной основе).

Механические испытания проводятся на испытательной машине *Zwick Roel Z100*, которая показана на рис. 2. Все испытания проводятся строго в соответствии с ГОСТ 34370–2017 (ISO 527-1-2012). Стандарт направлен на соблюдение параметров при определении механических свойств при растяжении пластиковых масс.



Рис. 2. Испытательная машина *Zwick Roel Z100*

После подготовки образцы маркируются и устанавливаются в захваты испытательной машины, при этом обеспечивается строго соосное расположение для исключения изгибающих нагрузок (см. рис. 3).

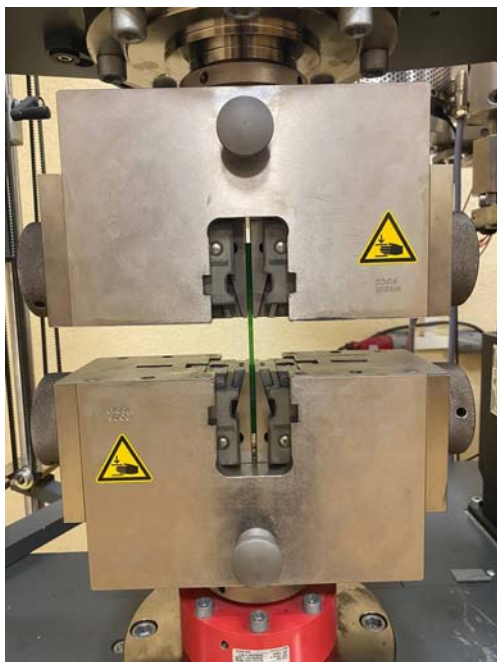


Рис. 3. Установка образца в тиски испытательной машины



Рис. 4. Разрушенный образец в тисках испытательной машины

Основной этап испытаний начинается с плавного нагружения образца с постоянной скоростью деформации, которая выбирается в соответствии со стандартом ГОСТ 34370–2017 (обычно 5 мм/мин). В процессе нагружения система автоматически записы-

вает кривую «напряжение–деформация», фиксируя ключевые параметры: модуль упругости (определяется по начальному линейному участку кривой), предел текучести (при 0,2 % остаточной деформации), предел прочности при растяжении и относительное удлинение при разрыве.

При достижении предела прочности происходит разрушение образца, после чего фиксируется характер излома и его расположение (см. рис. 4). Для фотополимерных материалов типично хрупкое разрушение с образованием четкой линии излома, хотя некоторые модифицированные смолы могут демонстрировать пластичное поведение с образованием шейки. После испытания проводится анализ разрушенного образца и полученных данных.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты механических испытаний образцов из фотополимерных смол демонстрируют характерные отличия от традиционных полимерных материалов, что обусловлено особенностями их структуры и технологией изготовления. Кривые «напряжение–деформация» фотополимеров показывают преимущественно линейный упругий участок с последующим хрупким разрушением, в то время как многие консервативные полимеры (такие как полипропилен или полиэтилен) проявляют выраженную пластическую деформацию с образованием шейки.

На графике, изображенном на рис. 5, а получены данные по трем образцам из фотополимерной смолы *Plant-Based* (стандартной на растительной основе).

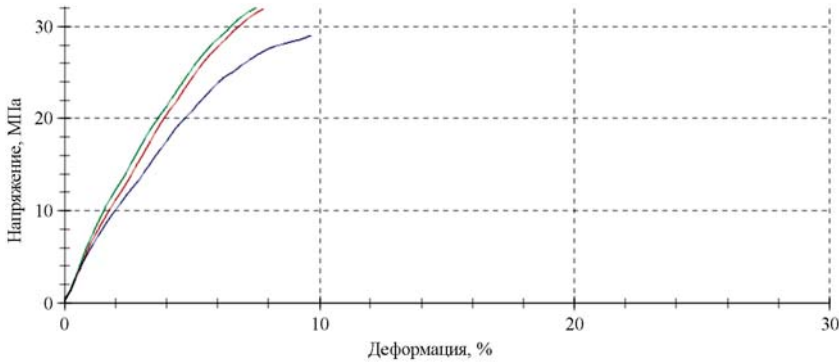
Результаты испытаний на растяжение образцов из фотополимерной смолы демонстрируют характерные механические свойства данного материала. Анализ представленных данных показывает, что средний модуль упругости E_t составляет 508 МПа при стандартном отклонении 17,6 МПа, что указывает на умеренную жесткость материала, сравнимую с некоторыми промышленными термопластами. Предел текучести σ_m и предел прочности σ_b имеют одинаковые средние значения около 30,9 МПа с небольшим разбросом (стандартное отклонение 1,71 МПа), что свидетельствует о хрупком характере разрушения материала без выраженной пластической деформации. Это подтверждается и значениями относительного удлинения при разрыве ϵ_b , которое в среднем составляет всего 8,3 % с коэффициентом вариации 14,18 %, что может быть связано с наличием микродефектов в структуре материала.

График зависимости напряжения от деформации показывает типичное поведение хрупкого материала с линейным упругим участком до деформации около 8 %, после чего следует резкое разрушение образца.

Результаты испытания:

Nr	E_p , МПа	σ_{x1} , МПа	σ_y , МПа	ε_y , %	σ_M , МПа	ε_M , %	ε_{tM} , %	σ_B , МПа	ε_B , %	ε_{tB} , %	b , мм	h , мм	A_0 , мм ²
2	504	—	—	—	31,9	7,8	7,8	31,9	7,8	7,8	10	4	40,00
3	528	—	—	—	32,0	7,5	7,5	32,0	7,5	7,5	10	4	40,00
7	494	—	—	—	28,9	9,7	9,7	28,9	9,7	9,7	10	4	40,00

График серии:



Статистика:

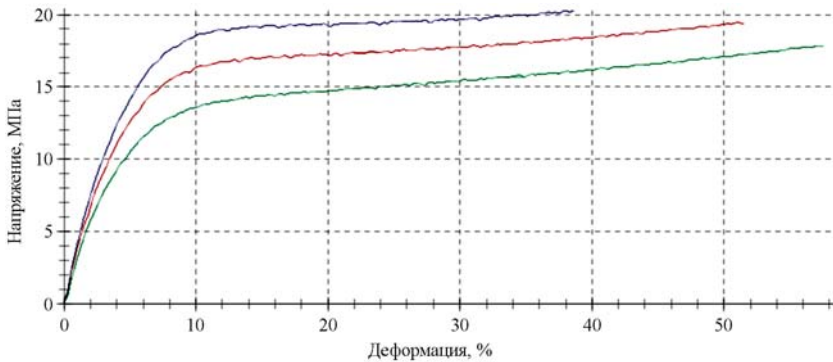
Серия $n = 3$	E_p , МПа	σ_{x1} , МПа	σ_y , МПа	ε_y , %	σ_M , МПа	ε_M , %	ε_{tM} , %	σ_B , МПа	ε_B , %	ε_{tB} , %	b , мм	h , мм	A_0 , мм ²
$\bar{x}$	508	—	—	—	30,9	8,3	8,3	30,9	8,3	8,3	10	4	40,00
s	17,6	—	—	—	1,71	1,2	1,2	1,71	1,2	1,2	0,000	0,000	0,00
v	3,46	—	—	—	5,54	14,18	14,18	5,54	14,18	14,18	0,00	0,00	0,00

а)

Результаты испытания:

Nr	E_p , МПа	σ_{x1} , МПа	σ_y , МПа	ε_y , %	σ_M , МПа	ε_M , %	ε_{tM} , %	σ_B , МПа	ε_B , %	ε_{tB} , %	b , мм	h , мм	A_0 , мм ²
2	197	16,3	—	—	19,5	51	51	19,5	51	51	10	4	40,00
4	143	13,6	—	—	17,8	57	57	17,8	57	57	10	4	40,00
6	22	18,6	19,4	20	20,2	—	39	20,2	—	39	10	4	40,00

График серии:



Статистика:

Серия $n = 3$	E_p , МПа	σ_{x1} , МПа	σ_y , МПа	ε_y , %	σ_M , МПа	ε_M , %	ε_{tM} , %	σ_B , МПа	ε_B , %	ε_{tB} , %	b , мм	h , мм	A_0 , мм ²
$\bar{x}$	187	16,2	19,4	20	19,2	54	49	19,2	54	49	10	4	40,00
s	40,4	2,48	—	—	1,22	4,4	9,5	1,22	4,4	9,5	0,000	0,000	0,00
v	21,57	15,36	—	—	6,36	8,18	19,39	6,36	8,18	19,39	0,00	0,00	0,00

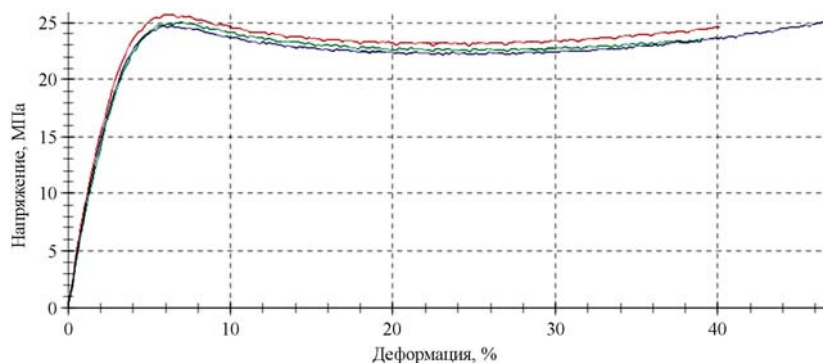
б)

Рис. 5 (Начало). Результаты испытаний образцов из фотополимерной смолы *Plant-Based* (стандартной на растительной основе) (а); фотополимерной смолы *ABS-like* (аналог АБС-пластика) (б)

Результаты испытания:

№	E_r , МПа	σ_{x1} , МПа	σ_y , МПа	ε_y , %	σ_M , МПа	ε_M , %	ε_{tM} , %	σ_B , МПа	ε_B , %	ε_{tB} , %	b , мм	h , мм	A_0 , мм ²
2	768	—	25,7	6,4	25,7	6,4	6,4	24,6	—	40	10	4	40,00
5	585	—	25,0	7,0	25,0	7,0	7,0	23,6	—	39	10	4	40,00
6	640	—	24,7	6,3	25,1	—	47	25,1	—	47	10	4	40,00

График серии:



Статистика:

Серия $n = 3$	E_r , МПа	σ_{x1} , МПа	σ_y , МПа	ε_y , %	σ_M , МПа	ε_M , %	ε_{tM} , %	σ_B , МПа	ε_B , %	ε_{tB} , %	b , мм	h , мм	A_0 , мм ²
$\bar{x}$	664	—	25,1	6,6	25,3	6,7	20	24,4	—	42	10	4	40,00
s	93,8	—	0,498	0,35	0,343	0,39	23	0,769	—	4,1	0,000	0,000	0,00
v	14,12	—	1,98	5,26	1,36	5,79	115,21	3,15	—	9,77	0,00	0,00	0,00

в)

Рис. 5 (Окончание). Результаты испытаний образцов из фотополимерной смолы *Tough 2.0 UV Flexible* (техническая смола с ударопрочными и гибкими свойствами) (в)

Отсутствие площадки текучести и пластической деформации на графике соответствует данным, где пределы текучести и прочности совпадают. Все образцы имеют одинаковые геометрические параметры (ширина 10 мм, толщина 4 мм, начальная площадь сечения 40 мм²), что обеспечивает сопоставимость результатов. Статистическая обработка данных трех образцов показывает хорошую воспроизводимость результатов по прочностным характеристикам (коэффициент вариации для σ_B составляет всего 5,54 %), в то время как деформационные характеристики имеют больший разброс.

При сравнении с традиционными полимерными материалами, такими как полипропилен и полиацеталь, данный фотополимер демонстрирует сопоставимые значения модуля упругости и предела прочности, но значительно уступает по пластичности. Например, полипропилен при аналогичной прочности может демонстрировать относительное удлинение при разрыве свыше 100 %, а полиацеталь – 20–40 %. Такое поведение характерно для фотополимерных смол и связано с особенностями их структуры, формирующейся в процессе фотополимеризации. Отсутствие данных о механических свойствах в различных

направлениях (σ_{x1} , σ_y) не позволяет сделать выводы о возможной анизотропии материала, которая часто наблюдается у 3D-печатных изделий из-за послойного характера их производства.

Полученные результаты указывают на то, что данный фотополимерный материал может быть рекомендован для применения в конструкциях, работающих преимущественно на статические нагрузки, где важны жесткость и прочность, но не требуются высокие деформационные характеристики. Для расширения возможностей применения материала целесообразно рассмотреть возможность модификации состава смолы для повышения ее пластичности или провести дополнительные исследования усталостных характеристик и поведения материала при различных температурах. Также важно учитывать, что реальные изделия, изготовленные методом 3D-печати, могут демонстрировать несколько иные свойства из-за особенностей технологии производства и возможной анизотропии механических характеристик.

Следующий фотополимерный материал, который рассматривается в данной работе – это *ABS-like* смола, результаты разрушений образцов из которой, можно увидеть на рис. 5, б.

Результаты механических испытаний образцов из *ABS*-подобной фотополимерной смолы демонстрируют существенные отличия от ранее протестированной стандартной растительной смолы, что отражает принципиальную разницу в их составе и структуре. Среднее значение E_t составляет 187 МПа при значительном разбросе данных (стандартное отклонение 40,4 МПа, коэффициент вариации 21,57 %), что указывает на более низкую жесткость по сравнению с предыдущим материалом (508 МПа), но большую вариабельность свойств между образцами. Напряжения σ_x и σ_y , характеризующие прочность в разных направлениях, показывают средние значения 16,2 и 19,4 МПа, соответственно, что свидетельствует о наличии некоторой анизотропии механических свойств, характерной для *ABS*-подобных материалов.

Предел текучести в среднем составляет 19,2 МПа при небольшом разбросе (стандартное отклонение 1,22 МПа), что значительно ниже, чем у стандартной смолы (30,9 МПа). Однако наиболее заметное отличие наблюдается в деформационных характеристиках: относительное удлинение при текучести ϵ_m достигает в среднем 54 % (против 8,3 % у предыдущего материала), а при разрыве ϵ_b — 49 %, что демонстрирует существенно более высокую пластичность *ABS*-подобной смолы. Такой характер деформационного поведения типичен для материалов, содержащих каучуковые модификаторы, которые обеспечивают повышенную ударную вязкость и способность к значительным пластическим деформациям перед разрушением.

График зависимости напряжения от деформации для данной серии испытаний показывает принципиально иную форму кривой по сравнению с предыдущим материалом. Вместо линейного упругого участка с последующим хрупким разрушением наблюдается выраженная площадка текучести при деформации около 20 %, после которой следует значительная пластическая деформация до 50–60 %. Это поведение характерно для материалов, способных к ориентационному упрочнению и перестройке молекулярной структуры под нагрузкой. Максимальное напряжение на графике соответствует пределу прочности около 19–20 МПа.

Сравнение с традиционным АБС-пластиком показывает, что фотополимерный аналог несколько уступает по прочностным характеристикам (предел прочности литьевого АБС обычно составляет 35–50 МПа), но сохраняет характерную для этого класса материалов высокую пластичность. Разброс деформационных характеристик между образцами (коэффициент вариации до 19,39 % для ϵ_{ib}) может быть связан с особенностями структуры, формирую-

щейся в процессе фотополимеризации, и возможной неоднородностью распределения каучуковых компонентов в объеме материала.

Геометрические параметры образцов (ширина 10 мм, толщина 4 мм, начальная площадь сечения 40 мм²) соответствуют предыдущим испытаниям, что позволяет проводить прямое сравнение результатов. Отсутствие данных по некоторым параметрам (например, σ_y для образцов 2 и 4) может указывать на особенности методики испытаний или направленности структуры материала.

Полученные результаты подтверждают, что *ABS*-подобная фотополимерная смола сочетает умеренную прочность с высокой пластичностью, что делает ее перспективной для применения в деталях, подвергающихся ударным и циклическим нагрузкам. Однако значительный разброс модуля упругости между образцами требует дополнительных исследований для оптимизации состава смолы и технологии печати с целью повышения стабильности механических характеристик. В отличие от стандартной растительной смолы, данный материал демонстрирует поведение, близкое к ударопрочным термопластам, что существенно расширяет область его потенциального применения в аддитивном производстве.

Последние образцы выполнены из смолы *Tough 2.0 UV Flexible* (техническая смола с ударопрочными и гибкими свойствами).

Результаты механических испытаний (см. рис. 5, в) демонстрируют характерные особенности технической смолы с ударопрочными и гибкими свойствами. Среднее значение E_t составляет 664 МПа при значительном разбросе данных между образцами (стандартное отклонение 93,8 МПа, коэффициент вариации 14,12 %), что указывает на промежуточную жесткость материала между стандартной и *ABS*-подобной смолами. Напряжение G_y , характеризующее прочность в поперечном направлении, показывает стабильные значения около 25,1 МПа с минимальным разбросом (стандартное отклонение всего 0,498 МПа), что свидетельствует о хорошей однородности механических свойств в этом направлении.

Деформационные характеристики материала демонстрируют средние значения относительного удлинения ϵ_y около 6,6 % при стандартном отклонении 0,35, что указывает на стабильность этого параметра. Предел текучести σ_m составляет в среднем 25,3 МПа при минимальном разбросе (стандартное отклонение 0,343 МПа), что подтверждает высокую воспроизводимость прочностных характеристик материала. Особый интерес представляют значения деформации при максимальной нагрузке (ϵ_{tm}), которые показы-

вают значительный разброс от 6,4 до 47 % между образцами (стандартное отклонение 23, коэффициент вариации 115,21 %), что может быть связано с особенностями поведения этого гибкого материала при достижении предельных нагрузок.

График зависимости напряжения от деформации для *Tough 2.0 UV Flexible* показывает принципиально иную форму кривой по сравнению с предыдущими тестируемыми материалами. Наблюдается выраженный упругий участок с последующим плато текучести и значительной пластической деформацией перед разрушением. Максимальное напряжение на графике соответствует пределу прочности около 24–25 МПа, что согласуется с табличными данными. Особенностью данного материала является способность к значительным пластическим деформациям (до 40–47 %) перед разрушением, что делает его похожим по поведению на некоторые эластомеры.

Сравнение с традиционными ударопрочными пластиками показывает, что *Tough 2.0 UV Flexible* демонстрирует промежуточные характеристики между жесткими стандартными смолами и высокопластичными *ABS*-подобными материалами. Его прочностные показатели несколько ниже, чем у промышленных ударопрочных термопластов, но способность к значительным деформациям перед разрушением делает его перспективным для применения в деталях, требующих сочетания умеренной жесткости и высокой ударной вязкости.

Геометрические параметры образцов (ширина 10 мм, толщина 4 мм, начальная площадь сечения 40 мм²) соответствуют предыдущим испытаниям, что позволяет проводить прямое сравнение результатов.

Отсутствие данных по некоторым параметрам (например, *GxI*) может быть связано с особенностями методики испытаний или изотропией материала в этом направлении.

Полученные результаты подтверждают, что *Tough 2.0 UV Flexible* сочетает в себе достаточную жесткость для конструкционного применения с уникальной для фотополимеров способностью к значительным пластическим деформациям. Такой комплекс свойств делает данный материал особенно перспективным для создания функциональных прототипов и конечных изделий, работающих в условиях ударных и циклических нагрузок. Однако значительный разброс некоторых деформационных характеристик требует дополнительных исследований для оптимизации технологии печати и условий постобработки с целью повышения стабильности механических свойств готовых изделий.

Проанализировав все данные, полученные с различными образцами (типа 1А и типа 1В), можно прийти к выводу, что отличий между показателями нет, поэтому выше описаны графики только по образцам типа 1А.

Главной задачей исследования является подбор оптимального материала-аналога для успешного внедрения новой технологии. Результаты представлены в сравнительной таблице.

Выводы. 1. Для замены фторопласта нет прямого аналога среди фотополимеров из-за его уникального сочетания низкого трения и высокой термостойкости.

2. Полипропилен лучше всего заменяется *ABS*-подобной смолой по показателям пластичности, хотя прочность немного ниже.

Таблица

«Аналоги полимеров»

Материал	Модуль упругости, МПа	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Лучший аналог	Примечания
Стандартная смола (растительная основа)	508	30,9	30,9	8,3	—	Хрупкий, низкая пластичность
<i>ABS</i> -подобная смола	187	19,2	19,2	49–54	Полипропилен	Высокая пластичность, ударопрочность
<i>Tough 2.0 UV Flexible</i>	664	24–25	25,3	6,6–47	Капролон	Сочетание жесткости и пластичности
Фторопласт (<i>PTFE</i>)	400–600	20–35	10–15	300–500	—	Низкий предел текучести, высокая пластичность
Полипропилен (<i>PP</i>)	1300–1800	30–40	35	100–600	<i>ABS</i> -подобная смола	Высокая пластичность, умеренная прочность
Полиацеталь (<i>POM</i>)	2800	60–70	55–65	20–40	—	Высокая жесткость и прочность
Капролон (<i>PA6</i>)	800–1200	45–80	40–70	50–300	<i>Tough 2.0 UV Flexible</i>	Умеренная жесткость, высокая ударопрочность

3. Полиацеталь не имеет хороших фотополимерных аналогов из-за значительно более высоких прочностных характеристик.

4. Капролон может быть частично заменен *Tough 2.0 UVFlexible* по сочетанию жесткости и ударопрочности, но с учетом меньшей прочности фотополимера.

5. Для внедрения новой технологии продуктивнее всего использовать *ABS-like* смолу.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от 14 июля 2021 г. № 1913-р «О стратегии развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года (с изменениями на 21 октября 2024 года)».
2. Аддитивные технологии: настоящее и будущее: матлы междунар. конф. М.: ВИАМ. 2020. 216 с.
3. Григорьянц А. Г., Лутченко А. В. Современные проблемы развития аддитивных технологий в машиностроении // Научные технологии в машиностроении. 2022. № 8. С. 27–30.
4. Фролова А. Б. История, текущее состояние и перспективы развития аддитивных технологий/А. Б. Фролова, А. И. Шигапов // Научные известия. 2022. № 29. С. 198–202.
5. Зленко М. А., Нагайцев М. В., Довбыш В. М. Аддитивные технологии в машиностроении: пособ. для инженеров. М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ». 2015. 220 с.
6. Преображенская Е. В., Боровик Т. Н., Баранова Н. С. Технологии, материалы и оборудование аддитивных производств: уч. пособ. М.: РТУ МИРЭА. 2021. Ч. 1. 173 с.
7. Крыжановский В. К., Бурлов В. В., Паниматченко А. Д., Крыжановская Ю. В. Технические свойства полимерных материалов: уч. пособ., 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Профессия. 2005. 248 с.
8. Фарниев А. С., Новиков П. А. Анализ свойств материалов, используемых в аддитивных технологиях, и особенности их влияния на формирование внутренних резьб // Вестник современных технологий. 2020. № 3 (19). С. 42–46.
9. Куликов М. Ю., Ларионов М. А., Гусев Д. В., Шевчук Е. О. Обеспечение качества деталей, изготовленных с помощью аддитивных технологий // Вестник Брянского государственного технического университета. 2020. № 12 (97). С. 4–10.
10. Сравнение ABS, PLA, SBS, PETG. Различия пластиков: свойства, хранение, применение // RusAbs. URL: <https://rusabs.ru/blogs/blog/razlichie-mezhdu-abs-ipla-dlya-3d-pechati>.
11. ГОСТ Р 57586–2017. Изделия, полученные методом аддитивных технологических процессов. Общие требования. М.: Стандартинформ. 2019. 8 с.

12. ГОСТ 11262–2017. Пластмассы. Метод испытания на растяжение. М.: Стандартинформ. 2018. 19 с.

References

1. *O strategii razvitiya additivnykh tekhnologij v Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda* [On the strategy for the development of additive technologies in the Russian Federation for the period up to 2030 (as amended on October 21, 2024)]. Order of the Government of the Russian Federation no. 1913-r dated 14.07.2021.
2. *Additive technologies: present and future: materials of the international conference*. Moscow, VIAM, 2020, 216 p.
3. Grigoryants A. G., Lutchenko A. V. Modern problems of development of additive technologies in mechanical engineering. *Science intensive technologies in mechanical engineering*, 2022, no. 8, pp. 27–30.
4. Frolova A. B., Shigapov A. I. History, current state and prospects for the development of additive technologies. *Scientific news*, 2022, no. 29, pp. 198–202.
5. Zlenko M. A., Dovbysh V. M. *Additivnye tekhnologii v mashinostroyenii* [Additive technologies in mechanical engineering: manual for engineers]. Moscow, State Scientific Center of the Russian Federation FSUE «NAMI», 2015, 220 p.
6. Preobrazhenskaya E. V., Borovik T. N., Baranova N. S. *Tekhnologii, materialy i oborudovanie additivnykh proizvodstv* [Technologies, materials and equipment for additive manufacturing: a tutorial]. Moscow, RTU MIREA, 2021, part 1, 173 p.
7. Kryzhanovskiy V. K., Burlov V. V., Panimatchenko A. D., Kryzhanovskaya Yu. V. *Tekhnicheskie svoystva polimernykh materialov* [Technical properties of polymeric materials: manual, 2nd ed.]. St. Petersburg, Profession, 2005, 248 p.
8. Farniev A. S., Novikov P. A. Analysis of the properties of materials used in additive technologies and features of their influence on the formation of internal threads. *Bulletin of modern technologies*, 2020, no. 3 (19), pp. 42–46.
9. Kulikov M. Yu., Larionov M. A., Gusev D. V., Shevchuk E. O. Quality assurance of parts manufactured using additive technologies. *Bulletin of Bryansk State Technical University*, 2020, no. 12 (97), pp. 4–10.
10. Comparison of ABS, PLA, SBS, PETG. Differences in plastics: properties, storage. *RusAbs*, available at: <https://rusabs.ru/blogs/blog/razlichie-mezhdu-abs-ipla-dlya-3d-pechati>.
11. *Izdeliya, poluchennye metodom additivnykh tekhnologicheskikh processov. Obshhie trebovaniya* [Products obtained by additive technological processes. General requirements]. State standard R 57586–2017. Moscow, Standartinform, 2019, 8 p.
12. *Plastmassy. Metod ispytaniya na rastjazhenie* [Plastics. Tensile testing method]. State standard no. 11262–2017. Moscow, Standartinform, 2018, 19 p.

УДК 53.082.5

И. А. КОВАЛЕВ, канд. тех. наук; А. О. КИСЕЛЕВ, Д. А. МАЛЫХ, М. Д. НЕНАРОКОМОВ, аспиранты (МГТУ «СТАНКИН», г. Москва)

E-mail: maxim.nenarokomov@gmail.com

I. A. Kovalev, A. O. Kiselev, D. A. Malykh, M. D. Nenarokomov (MSUT «STANKIN», Moscow)

Использование эффекта Бриллюэна в оптоволоконных сенсорах для мониторинга инженерных конструкций

Using the Brillouin effect in fiber optic sensors for monitoring engineering structures

Рассматривается применение метода на основе явления рассеяния Бриллюэна для непрерывного мониторинга состояния инженерных сооружений, с акцентом на обеспечение безопасности транспортной и промышленной инфраструктуры. Представлена теоретическая основа метода, включающая акустическое взаимодействие. Описана разработанная система мониторинга, использующая специализированные оптические кабели для измерения деформаций и температуры объекта наблюдения в режиме реального времени. Проведены экспериментальные исследования, демонстрирующие возможность точного определения пространственного распределения деформаций и температурных изменений в массиве траншеи. Полученные результаты позволяют существенно повысить эффективность контроля состояния инфраструктуры, обеспечивая своевременное выявление потенциальных аварийных ситуаций и оптимизацию процессов технического обслуживания. Результаты исследования демонстрируют, что рассматриваемый подход обеспечивает высокую пространственную и временную разрешающую способность по сравнению с традиционными методами мониторинга, что делает его перспективным для широкого применения в области инфраструктурного контроля.

This paper discusses the applicability of a method based on the Brillouin scattering phenomenon for continuous monitoring of the condition of engineering structures, with a focus on ensuring the safety of transportation and industrial infrastructure. It provides a theoretical framework for the method, including acoustic interaction. The developed monitoring system that uses specialized optical cables to measure deformation and temperature of the monitored object in real time are described. Experimental tests demonstrating the possibility of accurate determination of the spatial distribution of deformations and temperature changes in the trench array are carried out. The obtained results allow to significantly increase the efficiency of infrastructure condition monitoring, providing timely detection of potential emergency situations and optimization of maintenance processes. The results of the research demonstrate that the considered method provides high spatial and temporal resolution compared to traditional monitoring methods, which makes it perspective for wide application in the field of infrastructure control.

Ключевые слова: системы мониторинга; системы управления; оптическое волокно; рефлектометрия; геотехника.

Keywords: monitoring systems; control systems; optical fiber; reflectometry; geotechnical engineering.

Контроль состояния инженерных сооружений, в частности насыпей, является важной задачей в обеспечении безопасности транспортной и промышленной инфраструктуры. Насыпи, подверженные воздействию внешних и внутренних факторов, таких как осадки, изменение температурного режима, техногенные нагрузки и процессы внутреннего смещения грунтов, требуют непрерывного и точного мониторинга. Традиционные методы контроля, осно-

ванные на периодических визуальных осмотрах или установке точечных датчиков, часто не обеспечивают достаточной пространственной и временной разрешающей способности [1].

Оптоволоконные системы мониторинга представляют собой современный высокочувствительный инструмент, позволяющий осуществлять распределенный контроль по всей длине объекта. Они основаны на использовании оптического волокна в

качестве сенсора, чувствительного к деформациям, вибрациям и температурным изменениям. Такие системы способны обеспечивать непрерывный мониторинг в реальном времени на протяженных участках с высокой точностью и устойчивостью к внешним воздействиям. Благодаря этому оптоволоконные технологии находят все более широкое применение при мониторинге насыпей железных и автомобильных дорог, дамб, шахтных отвалов и других геотехнических сооружений [2].

В статье рассматривается разработка системы мониторинга, основанной на явлении Бриллюэновского рассеяния, которое представляет собой фундаментальный физический процесс, связанный с взаимодействием света и оптической среды, в частности, оптического волокна. Бриллюэновское рассеяние возникает в результате неупругого рассеяния света на акустических фоновых волнах, что приводит к сдвигу частоты, известному как частота рассеяния Бриллюэна (ЧРБ). Это явление лежит в основе работы распределенных сенсорных систем, способных отслеживать деформацию и температуру вдоль оптического волокна.

При прохождении когерентного света через оптическое волокно часть света рассеивается в обратном направлении, возвращаясь к источнику, а оставшаяся часть продолжает движение вперед. В оптических волокнах наблюдаются три основных типа рассеяния:

- Рэлееское, вызванное вариациями показателя преломления;
- Рамановское, обусловленное оптическими фоновыми волнами;
- Бриллюэновское, вызванное акустическими фоновыми волнами.

Вынужденное Бриллюэновское рассеяние, также известное как эффект Мандельштама-Бриллюэна, представляет собой нелинейный процесс, при котором падающая и стоксова волны взаимодействуют, усиливая акустические фоновые волны, что приводит к лавинообразному увеличению рассеянного излучения.

Данная статья описывает теоретические основы, экспериментальную установку, содержащую в себе систему измерения и контроля деформаций и температуры объекта наблюдения при помощи специализированных оптических кабелей, а также процедуры тестирования системы мониторинга на основе ЧРБ.

На рынке существуют различные приборы для фиксации ЧРБ, также есть различные оптоволоконные кабели. Для создания собственной системы оптоволоконного мониторинга необходимо изучать поведение конкретного кабеля, а также его термические характеристики. После чего необходимо автоматизировать процесс температурной коррекции и вычисления истинной деформации кабеля. Для

тестирования кабеля используется стенд, который впоследствии применяется для уточнения характеристик кабеля, поступившего с производства.

Принцип работы оптоволоконной системы мониторинга

Частота Бриллюэна ϑ_B или Бриллюэновский частотный сдвиг – это физическая характеристика, возникающая в результате явления вынужденного Бриллюэновского рассеяния (ВБРМБ) в оптическом волокне. ВБРМБ – это процесс неупругого рассеяния света, при котором падающий свет взаимодействует с акустическими фоновыми волнами (звуковыми волнами) в материале волокна, что приводит к появлению рассеянного света с частотой, сдвинутой относительно исходной. Этот сдвиг, называемый частотой Бриллюэна, зависит от свойств материала волокна и внешних условий, таких как температура и механическая деформация. На рис. 1 представлена рефлектограмма, описывающая результаты измерения оптических потерь [3].

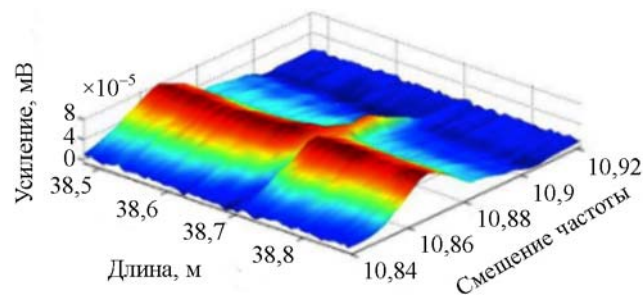


Рис. 1. Рефлектограмма

Частота Бриллюэна определяется следующей формулой [4]:

$$\vartheta_B = 2nV_a/\lambda, \quad (1)$$

где ϑ_B – частота рассеяния Бриллюэна, ГГц; n – эффективный показатель преломления волокна; V_a – скорость акустической волны в сердцевине, м/с; λ – длина волны зондирующего импульса, м.

Основными факторами изменения частоты Бриллюэна является температура, деформация, материальные неоднородности, конструкция кабеля. Благодаря этому можем записать уравнение, исходя из которого складывается основная часть частоты Бриллюэна [5]:

$$\nu_B(\epsilon) = \nu_B(0) + \frac{d\nu_B(\epsilon)}{d\epsilon}\epsilon + \frac{d\nu_B(T)}{dT}T, \quad (2)$$

где $\nu_B(\epsilon, T)$ – величина дрейфа частоты бриллюэновского рассеяния света при изменении деформации и температуры оптического волокна, ГГц; $\nu_B(0)$ – величина дрейфа частоты бриллюэновского рассе-

яния света, ГГц; $\nu_B(\epsilon)/d\epsilon$, $\nu_B(T)/dT$ – коэффициенты деформации и температуры; ϵ – осевая деформация волокна, м; T – изменение температуры, К.

Для типовых оптических волокон масштабный коэффициент составляет 493 МГц/% (при увеличении длины участка кабеля на 1 %, частота сигнала на этом участке увеличивается на 1 МГц). Температурный коэффициент равен 1 МГц/°С (при увеличении температуры участка кабеля на 1 °С, частота сигнала на этом участке увеличивается на 1 МГц). Исходя из формулы (2), для вычисления деформации кабеля по его характеристикам необходимо знать точную температуру на протяжении всей линии [6].

Для этого необходимо рядом с деформационным кабелем проложить еще один кабель, который бы не был восприимчив к внешним воздействиям. Такие кабели присутствуют на рынке и называются «*loose tube*».

Типы оптических кабелей

Кабели типа «*loose tube*» разработаны для минимизации передачи деформации на оптическое волокно. Волокна свободно располагаются внутри защитной трубки, что позволяет кабелю выдерживать растяжение и сжатие без воздействия на волокно [7]. Это делает такие кабели преимущественно чувствительными к изменениям температуры, так как слагаемое деформации в уравнении ЧРБ становится пренебрежимо малым [8].

Деформационные кабели включают модуль деформации, обычно представляющий собой оптическое волокно, заключенное в тонкую стальную трубку. Такая конструкция обеспечивает эффективную передачу внешних механических напряжений на волокно, что делает эти кабели высокочувствительными к деформации.

Конструкция тестируемого кабеля включает внешнюю пластиковую оболочку толщиной 5 мм, армирующий слой из стальной проволоки диаметром около 2 мм и центральное оптическое волокно, заключен-

ное в тонкую стальную трубку. Схематичный кабель в разрезе показан на рис. 2.



Рис. 2. Деформационный оптоволоконный кабель с одним чувствительным волокном

Экспериментальная установка и тестирование кабелей

Калибровочные испытания оптоволоконных кабелей проводились на специально сконструированном стенде, включающем две алюминиевые рампы высотой 1,5 м, установленные на расстоянии 7 м друг от друга (см. рис. 3). Одна из рамп жестко закреплена на бетонном полу лаборатории, в то время как вторая оборудована винтовой передачей с шаговым двигателем, обеспечивающей управляемое продольное перемещение с разрешающей способностью порядка 0,1 мм. На подвижной рампе установлен тензодинамометр класса точности 0,1 %, к которому посредством стандартных оптических зажимов крепится исследуемый кабель. Противоположный конец кабеля фиксируется зажимом на статичной рампе. Оба волоконных вывода подключаются к оптическому анализатору.

Тест на растяжение кабеля

Для проведения этого этих тестов берется 20 м кабеля, к концам кабеля привариваются пигтейлы. Кабель надежно закрепляют в зажимах стенда таким образом, чтобы два конца кабеля дотягивались до прибора. Далее опишем ход эксперимента [9].

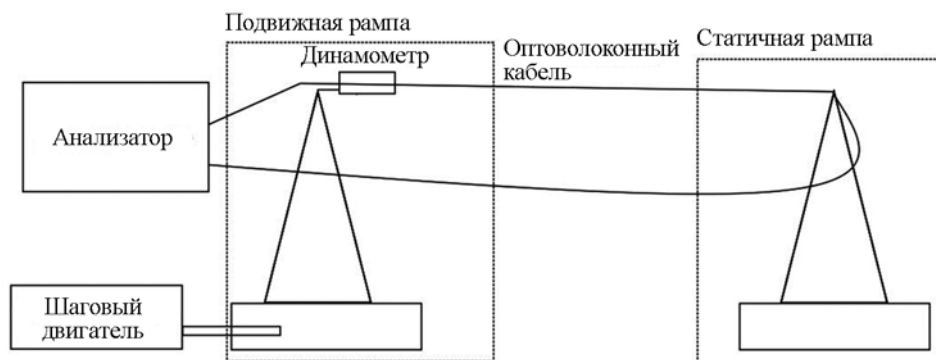


Рис. 3. Схема стенда для испытаний кабелей

Калибровка «нулевой» точки:

- запись спектра Бриллюэна при 0 мк; фиксируется λ_0 или ν_0 .

Испытание:

- шаг растяжения: $\Delta\epsilon \sim 2$ мм;
- после каждого шага перемещения привода выдерживается пауза в 1 мин;
- снятие спектра, фиксация графика ЧРБ;
- повторение до максимальной деформации, например, 16 мм;
- убираем натяжение по $\Delta\epsilon \sim 2$ мм на шаг, в процессе записывая ЧРБ.

Циклическая нагрузка:

- провести три цикла «нагрузка–разгрузка» до заданной $\epsilon_{\max} = 16$.

По итогам эксперимента кабель натягивают до 35 кг, после чего натяжение постепенно уменьшается (см. таблицу). Результаты представлены на графике (см. рис. 4), где зеленая линия с круглыми маркерами обозначает натяжение, а красная с треугольными – расслабление.

Таблица

Данные для расчета деформации кабеля

Перемещение, мм	Средняя частота, ГГц	Натяжение, Н
6	10,761800	0,108500
14,56	10,809986	0,322500

Основной характеристикой кабеля является показатель микрострейн ϵ , мкм:

$$\epsilon = \Delta f / (\Delta L / L), \quad (3)$$

где Δf – дельта частоты Бриллюэна, ГГц; ΔL – удлинения кабеля, м; L – длина стэнда, м.

Температурное тестирование кабеля

Для оценки температурных характеристик ранее механически оттестированного оптоволоконного кабеля была выполнена следующая экспериментальная процедура [10].

Протестированное на растяжение волокно, длина которого в эксперименте составляет 40 м, демонтируется со статико-динамического стэнда, аккуратно сворачивается в плотную бухту диаметром не менее 30 см и укладывается в термокамеру таким образом, чтобы витки кабеля не контактировали напрямую со стенками камеры и между собой обеспечивался минимальный радиус изгиба, превышающий технические ограничения производителя.

Термокамера запрограммирована на последовательный переход температур от -20 до $+60$ °С с шагом 10 °С. На каждом ступенчатом значении температуры поддерживался устоявшийся режим в течение 2 ч:

- время стабилизации (от момента достижения уставки до начала измерений) составляло 1 ч 50 мин;

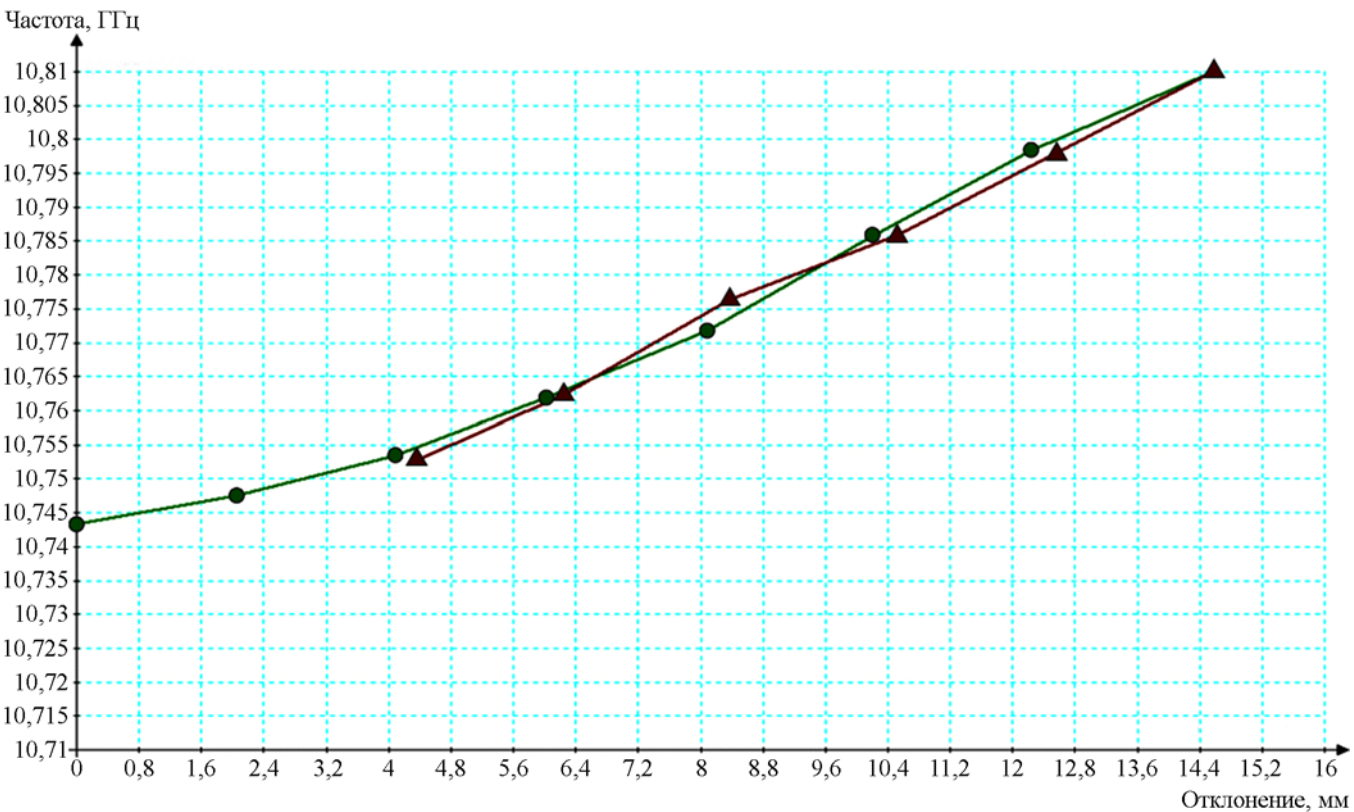


Рис. 4. График натяжения кабеля

- в момент $t = 1$ ч 50 мин производится запуск автоматизированной процедуры съема спектров Бриллюэна.

По завершении выдержки при каждой температуре накопленные спектры обрабатываются следующим образом:

- определяется участок волокна, на котором регистрируется максимальная стабильность сигнала (минимум вариаций интенсивности);
- по серии спектров вычисляется средняя частота Бриллюэна для данного температурного режима;
- полученные значения вносятся в протокол испытаний и табличную форму для последующего анализа.

После завершения полного цикла температурных ступеней рассчитанные средние значения ν наносятся на координатную плоскость «частота Бриллюэна – температура» (см. рис. 5). На основе полученной линеаризованной зависимости определяется температурный коэффициент чувствительности образца.

Анализ данных показывает, что точка перегиба температурной характеристики находится в диапазоне 20–30 °С. Для повышения точности графика данные аппроксимируются двумя линейными функциями вида ($y = kx + b$). Первая аппроксимация проводится для диапазона от –20 до 30 °С: ($y = 0,0012857x + 10,693008$), средняя ошибка составляет 0,0011072 %; вторая – для диапазона 30–60 °С: ($y = 0,0012529x + 10,691822$), средняя ошибка – 0,00616 %.

Проверка теории на практике

В ходе лабораторных испытаний возникает необходимость разработки методики отслеживания

реального провала грунта и его сопоставления с данными, получаемыми с помощью рефлектометрических измерений. С целью реализации контролируемого провала сконструирована искусственная траншея. Конструктивно стенд представляет собой короб длиной 15 метров, высотой 0,5 метра и шириной 0,3 метра. Для инициирования провала грунта в центральной части короба установлены створки, открытие которых приводит к осыпанию грунта вниз с образованием провала.

Мониторинг положения кабеля осуществляется с помощью белых измерительных лент, закрепленных на кабеле и выведенных на поверхность. Перед началом эксперимента фиксируются исходные положения лент относительно верхнего края короба. По мере просадки кабеля вследствие осыпания грунта регистрируются изменения положения лент, что позволяет отследить деформацию кабеля в реальном времени.

Отдельно стоит отметить, что в ранее проводимых стендовых испытаниях выявлен температурный дрейф, вызванный изменением температуры воздуха в помещении. В данном эксперименте, за счет засыпки кабеля грунтом, температура его должна оставаться стабильной, что снижает влияние температурных флуктуаций на результаты измерений. Для имитации дополнительной нагрузки на грунт верхнюю часть траншеи покрывают кирпичами. Схема траншеи изображена на рис. 6.

Кабель укладывается в траншею, затем проводится замер. Это измерение становится базовым для испытаний. Затем, открывая створки короба траншеи, осыпают грунт, в следствии чего кабель проваливается и натягивается. Проводятся замеры ЧРБ и по сигнальным ленточкам. Посредством вычитания

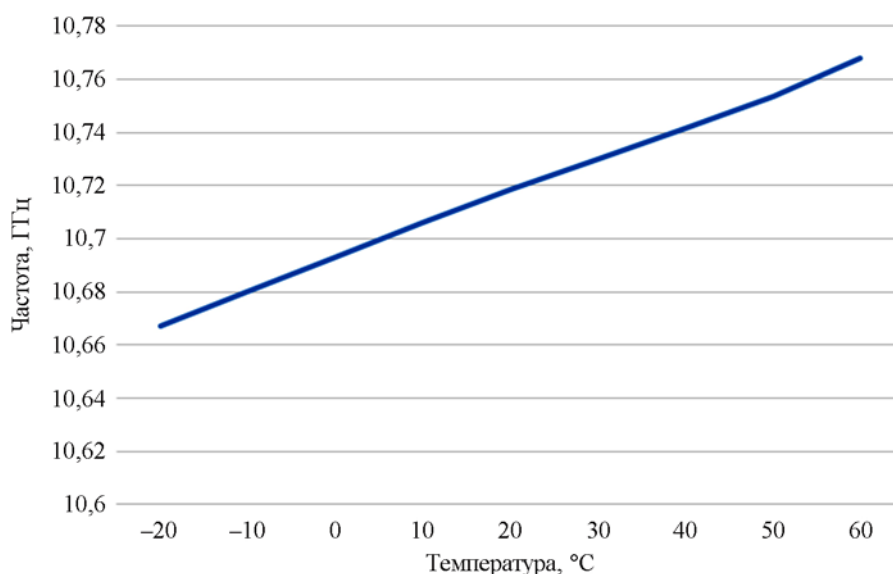


Рис. 5. Температурная характеристика швейцарского кабеля

одного массива с начальными измерениями ЧРБ из второго получаем график разности двух измерений ЧРБ и накладываем его на график замера провала по контрольным лентам. Далее рассматриваем графики зависимости частоты Бриллюэна и реального провала грунта (см. рис. 7). На представленном графике используется общая ось абсцисс для двух зависимостей: пунктирная кривая характеризует изменение частоты Бриллюэна (шкала значений в гигагерцах, ГГц), тогда как для обычной кривой шкала уменьшена в два раза и выражена в сантиметрах. Поскольку локализовать провал непосредственно по рефлектометрической характеристике затруднительно, все графики центрированы относительно максимальных значений.

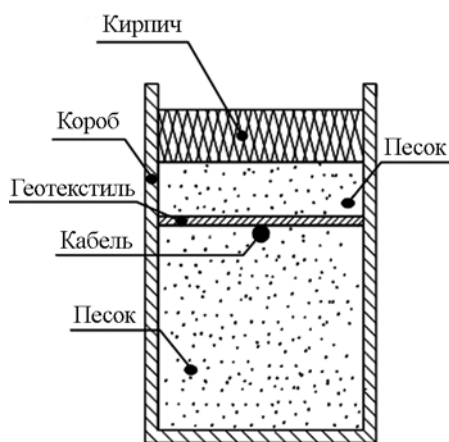


Рис. 6. Схематичный рисунок траншеи

Для аппроксимации реальной подвижки грунта по длине кабеля использовалась дискретизация с шагом 50 см: каждому участку кабеля присваивалась соответствующая глубина.

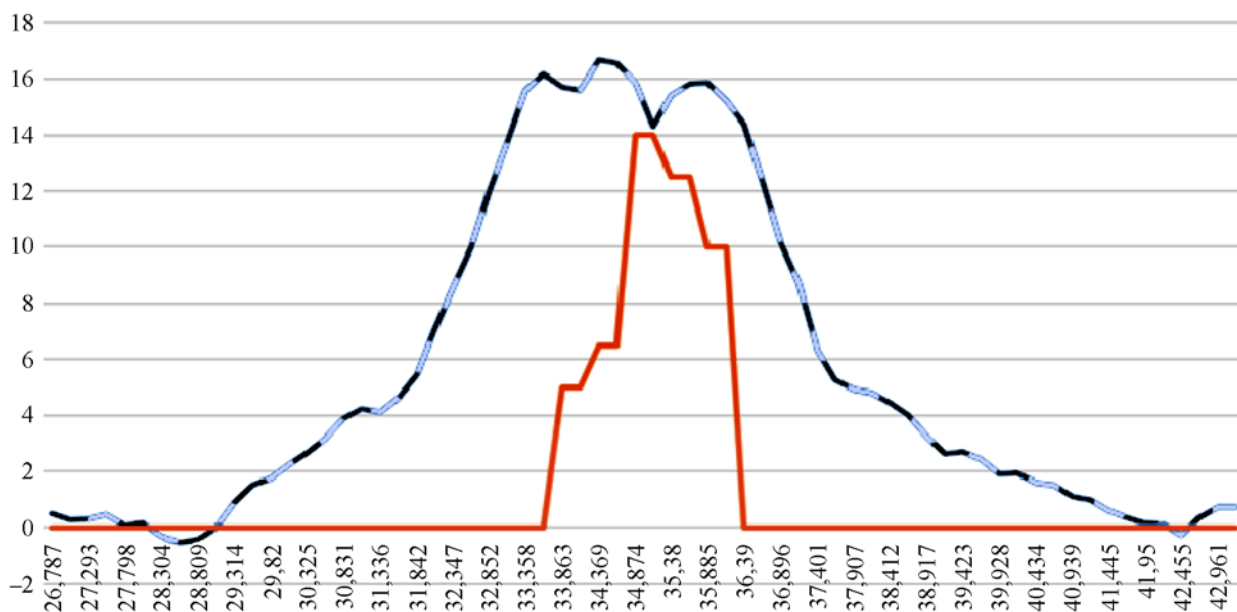


Рис. 7. Совмещенные графики реальной деформации грунта и изменения частоты

Для подсчета растяжения кабеля необходимо проинтегрировать изменения частоты Бриллюэна. После чего получаем ответ 1,088 МГц. Умножая на коэффициент, который получен ранее 545 микростркийна имеем удлинение кабеля примерно 8 мм. Если посчитать удлинение по маркерным лентам, то общее растяжение кабеля $\approx 8,8$ мм данной точности достаточно для задач мониторинга. В данном опыте температурная коррекция показаний не проводится так как опыты идут в разнице по времени в 5 мин. Можно считать температуру кабеля неизменной.

Выводы. 1. Разработанная система мониторинга на основе Бриллюэновского рассеяния демонстрирует высокую эффективность для измерения деформации и температуры в оптических кабелях.

2. Проведенные испытания швейцарского кабеля подтверждают его пригодность для применения в распределенных сенсорных системах, благодаря стабильным характеристикам и отсутствию значительного гистерезиса при растяжении.

3. Температурные тесты выявляют нелинейность характеристики в диапазоне 20–30 °С, что требует учета при калибровке. Совместное использование деформационных и температурных кабелей позволяет разделить вклады деформации и температуры, обеспечивая высокую точность измерений.

4. Разработанный калибровочный стенд показывает свою универсальность и точность при тестировании оптических кабелей, что делает его перспективным инструментом для дальнейших исследований.

5. Полученные результаты могут быть использованы для мониторинга конструкций в строительстве, геотехнике и других отраслях, где требуется высокоточное измерение деформации и температуры.

Список литературы

1. Motil A., Bergman A., Tur M. State of the Art of Brillouin Fiber-Optic Distributed Sensing // *Optics & Laser Technology*. 2021.
2. Soto M. A., Thévenaz L. Modeling and Evaluation of Brillouin Distributed Optical Fiber Sensors // *Optics Express*. 2020.
3. Шишкин В. В., Гранев И. В., Шелемба И. С. Отечественный опыт производства и применения волоконно-оптических датчиков. Пермь: ООО Инверсия-Сенсор. 2016.
4. *Distributed Fibre Optic Sensing Technology in the Extreme Areas of Civil Engineering*. Switzerland: Arne Kindler and Omnisens co. 2017.
5. Tang Y., Sun Q., Zhang H. Enhanced BOTDA with High Spatial Resolution Using Optical Pulse Coding Techniques // *IEEE Photonics Technology Letters*. 2022. Pp. 157–160.
6. Bosco G. Spectra in Polarization-Maintaining Fibers // *Journal of Lightwave Technology*. 2015.
7. Bao X., Chen L. Recent Advances in Brillouin Scattering Based Distributed Optical Fiber Sensors // *Sensors*. 2019.
8. Buchoud E. Strain detection, localization and quantification by optic fiber sensors. 2014.
9. Liu Y., Bao X. Distributed Brillouin and Rayleigh Sensing for Structural Health Monitoring // *Photonics*. 2020. Pp. 5.
10. Wang Z., Zhang J. Distributed Sensing in Harsh Environments Using Brillouin Scattering // *Sensors and Actuators A: Physical*. 2020.

References

1. Motil A., Bergman A., Tur M. State of the Art of Brillouin Fiber-Optic Distributed Sensing. *Optics & Laser Technology*, 2021.
2. Soto M. A., Thévenaz L. Modeling and Evaluation of Brillouin Distributed Optical Fiber Sensors. *Optics Express*, 2020.
3. Shishkin V. V., Graney I. V., Shelemba I. S. *Otechestvennyj opyt proizvodstva i primeneniya volokonno-opticheskikh datchikov* [Domestic experience in the production and application of fiber-optic sensors]. Perm, Inversiya-Sensor LLC, 2016.
4. *Distributed Fibre Optic Sensing Technology in the Extreme Areas of Civil Engineering*. Switzerland, Arne Kindler and Omnisens co., 2017.
5. Tang Y., Sun Q., Zhang H. Enhanced BOTDA with High Spatial Resolution Using Optical Pulse Coding Techniques. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2022, pp. 157–160.
6. Bosco G. Spectra in Polarization-Maintaining Fibers. *Journal of Lightwave Technology*, 2015.
7. Bao X., Chen L. Recent Advances in Brillouin Scattering Based Distributed Optical Fiber Sensors. *Sensors*, 2019.
8. Buchoud E. *Strain detection, localization and quantification by optic fiber sensors*. 2014.
9. Liu Y., Bao X. Distributed Brillouin and Rayleigh Sensing for Structural Health Monitoring. *Photonics*, 2020, pp. 5.
10. Wang Z., Zhang J. Distributed Sensing in Harsh Environments Using Brillouin Scattering. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2020.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

УДК 004.62

И. В. МИРГАЛЕЕВА, д-р экономич. наук; **И. И. ФРОЛОВА**, канд. соц. наук (КИУ им. В. Г. Тимирязова, г. Набережные Челны); **Г. А. ГАРЕЕВА**, канд. пед. наук (КНИТУ-КАИ, г. Набережные Челны); **А. Г. ФАЙЗУЛЛИНА** (Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, г. Набережные Челны)
E-mail: gagareeva1977@mail.ru

I. V. Mirgaleeva, **I. I. Frolova** (Kazan Innovative University named after V. G. Timiryasov, Naberezhnye Chelny); **G. A. Gareeva** (Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI, Naberezhnye Chelny); **A. G. Faizullina** (Naberezhnye Chelny Institute (branch) of the Kazan (Volga) Federal University, Naberezhnye Chelny)

Разработка инструмента автоматизированного тестирования для повышения качества системы диспетчеризации промышленных процессов

Development of an automated testing tool to improve the quality of an industrial process dispatch system

Рассматривается реализация программного тестового стенда для имитации логики SCADA-системы на языке C#. Программа разрабатывается в виде консольного приложения и взаимодействует с базой данных PostgreSQL для хранения и проверки данных. Создание подобного стенда необходимо для тестирования алгоритмов управления, визуализации данных и проверки аварийных сценариев при отсутствии физического оборудования. Подробно описаны архитектура системы, структура командной строки, а также полный исходный код с многочисленными опциями и флагами.

This article discusses the implementation of a software testbed for simulating SCADA system logic in C#. The program is developed as a console application and interacts with a PostgreSQL database for data storage and verification. This testbed is necessary for testing control algorithms, data visualization, and emergency scenarios in the absence of physical equipment. The system architecture, command line structure, and complete source code with numerous options and flags are described in detail.

Ключевые слова: управление; качество; диспетчеризация; SCADA; тестирование; стенд; консольное приложение; автоматизация; PostgreSQL; C#.

Keywords: control; quality; dispatching; SCADA; testing; testbed; console application; automation; PostgreSQL; C#.

Диспетчеризация открывает широкие перспективы для применения систем автоматического управления, что делает предприятие в целом более прогрессивным, технологичным, безопасным и прибыльным. Качество системы диспетчеризации промышленных процессов заключается в ее способности оперативно контролировать, анализировать текущую ситуацию и принимать обоснованные управленческие решения [1].

Система диспетчеризации – это набор программных и аппаратных средств для контроля производственных систем и различных процессов.

Повышение качества системы диспетчеризации промышленных процессов достигается за счет автоматизации процессов на основе современных информационных технологий. Это позволяет [2]:

- оперативно оценивать и анализировать текущую ситуацию;
- принимать обоснованные управленческие решения на основе объективных данных;
- минимизировать затраты на контроль и устранение неисправностей оборудования.

Современные промышленные и инфраструктурные объекты все чаще оснащаются автоматизирован-

ными системами управления, ключевым элементом которых выступают SCADA-системы – система сбора данных и оперативного диспетчерского управления [3].

Они обеспечивают мониторинг, контроль, визуализацию процессов, а также сбор, хранение и анализ данных от большого числа удаленных объектов – датчиков, приводов, контроллеров и других элементов автоматизации. От корректности работы SCADA-систем напрямую зависит безопасность, эффективность и стабильность технологических процессов, что делает их тестирование и отладку критически важными.

Разработка SCADA-системы – это многоэтапный процесс, включающий проектирование архитектуры, реализацию бизнес-логики, обеспечение взаимодействия с базой данных, а также моделирование реакций на нормальные и аварийные события. На практике возникает ряд проблем [4]:

1. Недоступность оборудования на этапе разработки. Часто физические программируемые логические контроллеры (ПЛК), датчики и исполнительные механизмы отсутствуют или недоступны, что затрудняет верификацию алгоритмов.

2. Невозможность безопасного тестирования аварийных сценариев. Симуляция отказов, обрывов сигналов или ошибочных данных в реальных условиях может быть опасной или невозможной.

3. Отсутствие инструментов автоматизированной проверки. Множество компонентов SCADA завязано на реальное время и события, что требует гибкого инструментария для отладки и тестирования без необходимости развертывания полноценной инфраструктуры.

Поэтому разработка программного тестового стенда, способного имитировать поведение SCADA-системы, становится важной задачей. Такой стенд должен моделировать потоки сигналов, изменяющихся во времени, генерировать аварии, записывать события в базу данных и выводить их в лог, позволяя при этом настраивать параметры запуска через флаги командной строки. Это обеспечивает:

- проверку корректности бизнес-логики (сбор, обработка, реакция на события);
- тестирование устойчивости к нестандартным или аварийным ситуациям;
- верификацию взаимодействия с системой хранения (например, PostgreSQL);
- упрощение отладки, особенно на ранних стадиях проекта;
- подготовку к CI/CD-интеграции в рамках DevOps-процессов.

Цель данной работы – реализация консольного приложения на языке C#, которое будет выполнять

роль имитатора SCADA-системы, записывать события в PostgreSQL, поддерживать различные режимы работы, а также обеспечивать расширяемость, модульность и удобство настройки. Такой подход позволяет снизить зависимость от физической среды, ускорить цикл разработки и обеспечить масштабируемость при дальнейшем развитии программного комплекса.

Выбор именно C# обусловлен его синтаксической строгостью, удобством модульной архитектуры и широким спектром возможностей работы с базами данных через сторонние библиотеки, в частности – Npgsql.

Основной задачей стенда является имитация типового цикла работы SCADA-системы, включающего:

- прием параметров запуска;
- подключение к базе данных;
- выполнение сценария генерации событий (нормальных и аварийных);
- запись и отображение логов в реальном времени.

Программа должна быть гибкой, настраиваемой, легко модифицируемой и расширяемой под нужды конкретных систем автоматизации. Это достигается путем разделения логики на четко структурированные компоненты и предоставлением широкого набора параметров командной строки, с помощью которых пользователь может задать режим работы без необходимости пересборки кода [5].

Для обеспечения модульности и читаемости проекта приложение построено по принципу разделения ответственности (*Separation of Concerns*). В качестве среды разработки выбрана Visual Studio 2022. Каждому логическому блоку выделен отдельный компонент, выполняющий строго определенную функцию. Это упрощает отладку, поддержку и масштабирование приложения.

Класс *CommandLineOptions* отвечает за парсинг аргументов командной строки. Позволяет задать параметры подключения к PostgreSQL, интервал генерации событий, длительность работы стенда, уровень логирования и включение аварийного режима. Обеспечивает удобную конфигурацию без перекомпиляции. Программный код данного логического блока проекта-класса показан на рис. 1.

Класс *DatabaseManager* инкапсулирует логику подключения к базе данных PostgreSQL через драйвер Npgsql. Позволяет выполнять запросы к таблицам, сохранять события и логи программы, а также может быть расширен для чтения конфигурационных данных, хранения истории событий и метрик. Программный код данного класса показан на рис. 2.

Класс *TestScenario* содержит основную бизнес-логику имитации поведения системы. В зависимости от выбранного режима (нормальный или аварийный),

периодически генерирует события, записывает их в базу и выводит информацию в лог. Этот компонент может быть расширен новыми сценариями и логикой обработки (см. рис. 3).

Класс *Logger* отвечает за визуализацию происходящих событий в терминале с учетом установленного уровня логирования. Поддерживает уровни отладки, информационные и ошибочные сообщения, что де-

лает процесс тестирования более наглядным и удобным. Класс *Logger* показан на рис. 4.

Класс *Program* является точкой входа приложения, связывает все остальные компоненты. Последовательно инициализирует параметры, подключается к базе, запускает сценарий и завершает работу по окончании заданного времени. Описанный выше класс показан на рисунке 5.

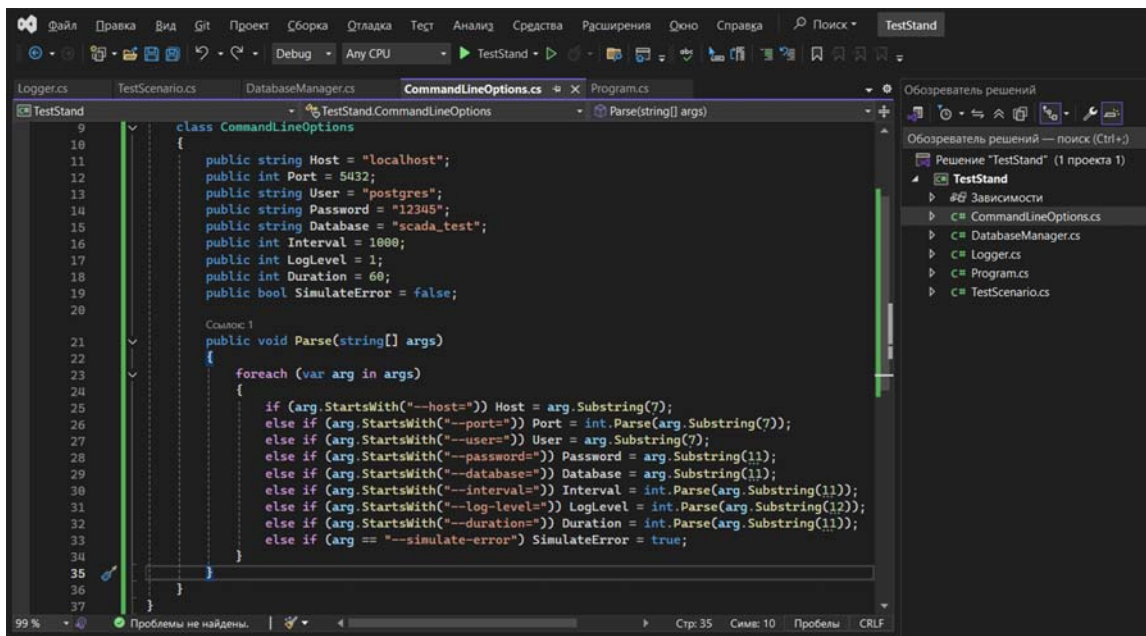


Рис. 1. Парсинг аргументов командной строки

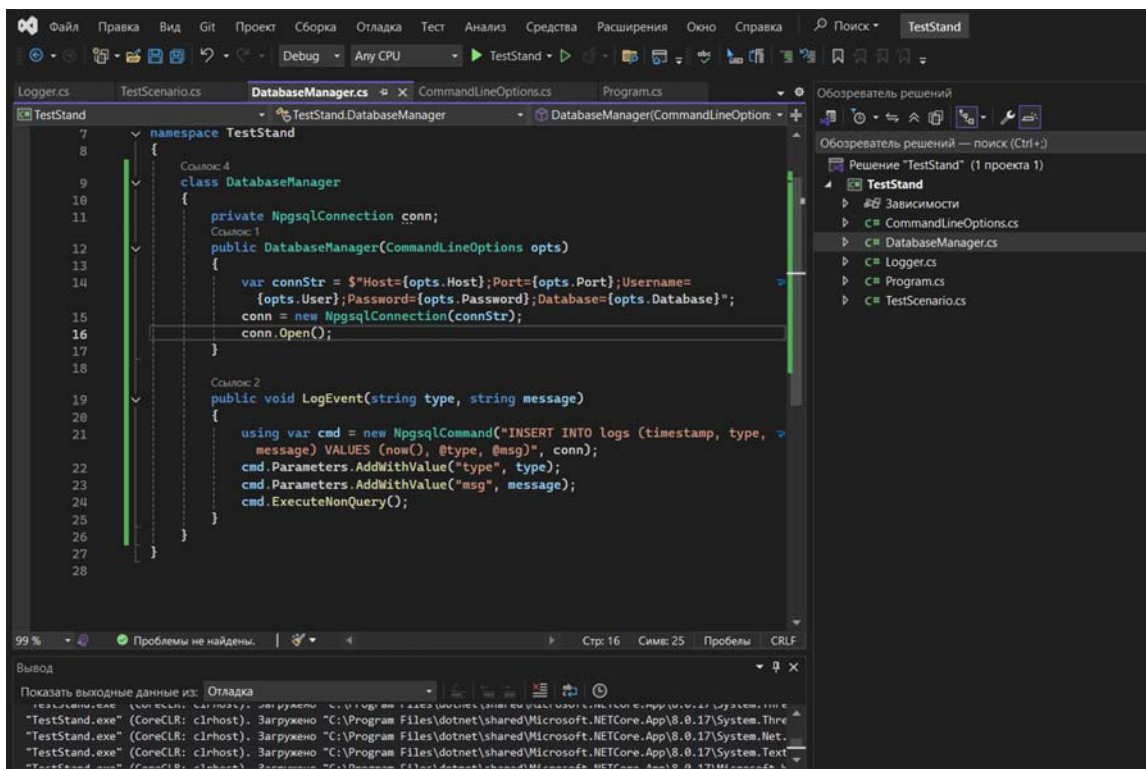


Рис. 2. Класс работы с БД *scada_test*

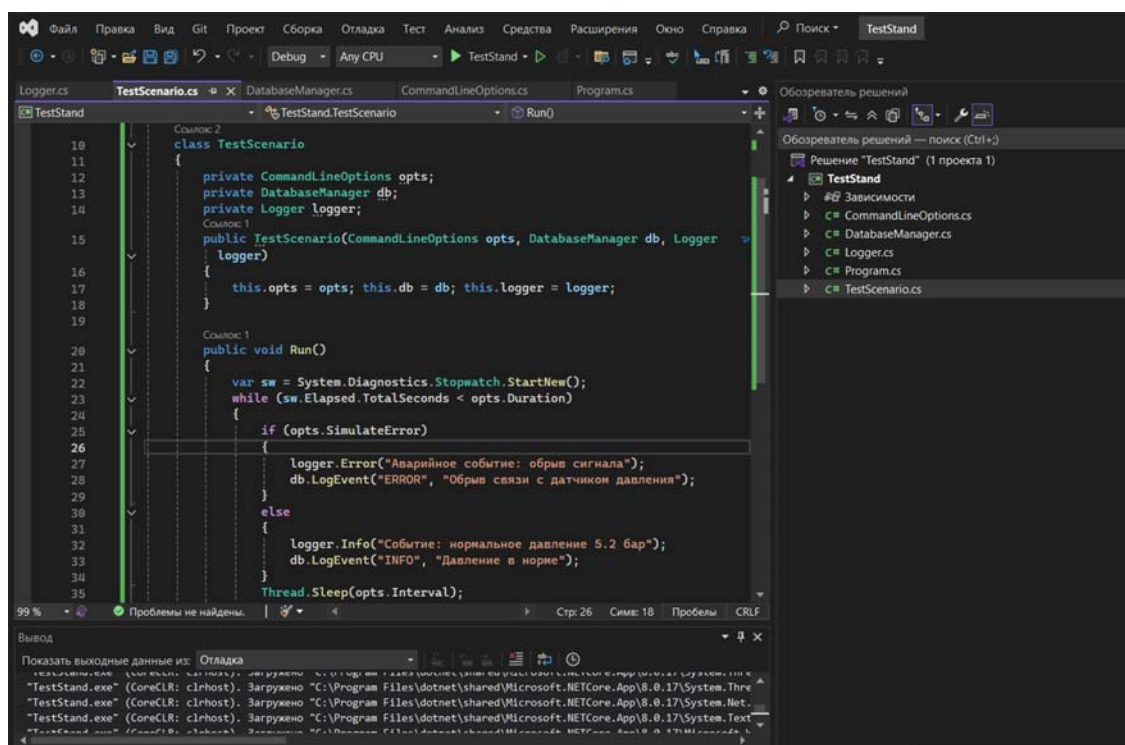


Рис. 3. Класс генерации событий

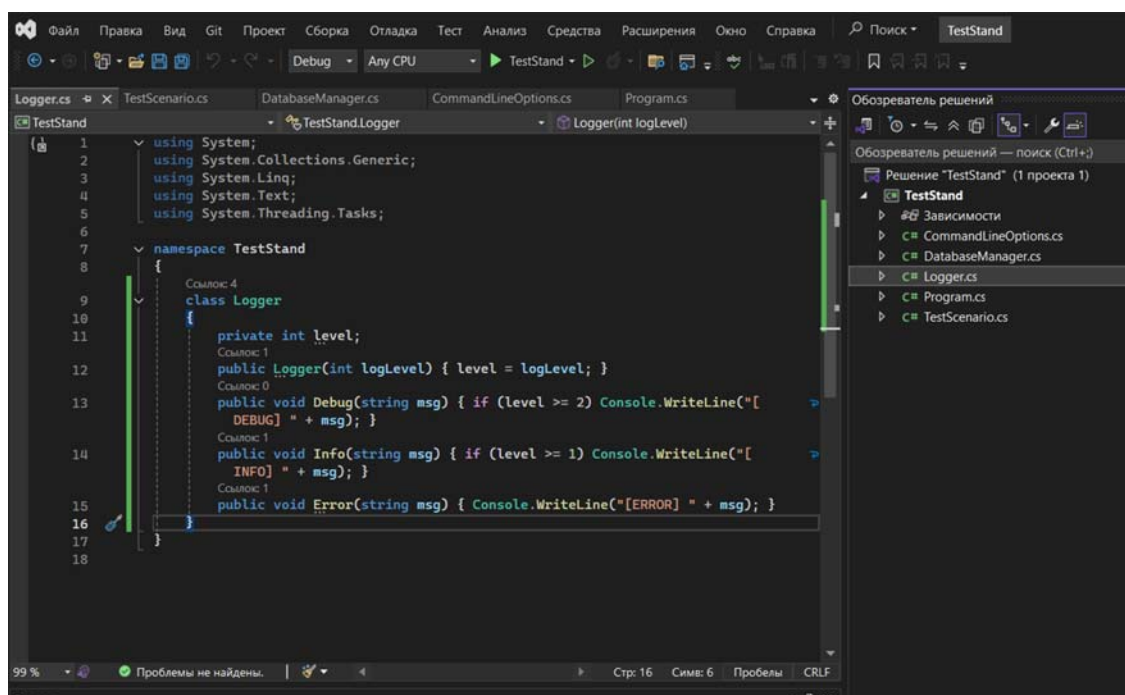


Рис. 4. Класс визуализации событий в терминале

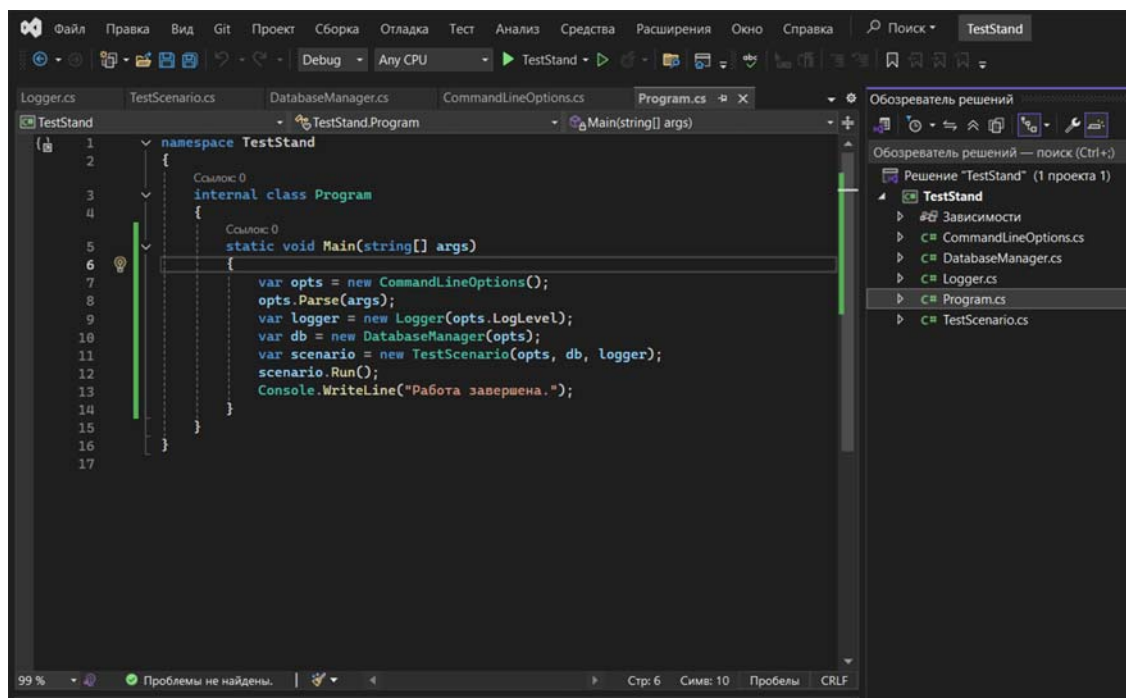
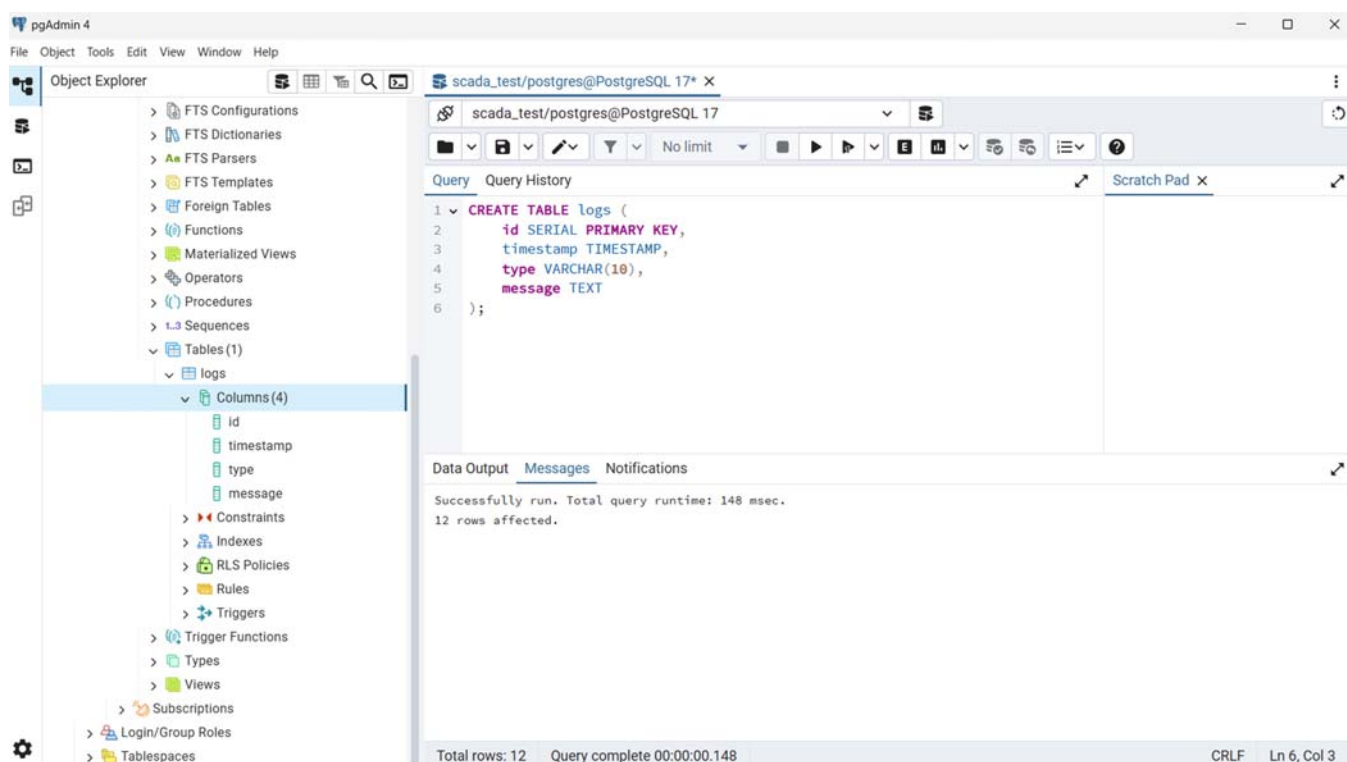
С помощью графического клиента *pgAdmin4*, используемого для управления базами данных в *PostgreSQL*, создана БД *scada_test*, содержащая все необходимые поля для ведения, сохранения логов событий разрабатываемого приложения. Окно программы *pgAdmin4* показано на рис. 6.

Для обеспечения гибкой настройки без изменения исходного кода приложение принимает параметры

запуска в виде флагов. Это особенно важно при интеграции с другими системами, скриптами и *CI/CD*-конвейерами.

Поддерживаются следующие параметры:

- *host=<адрес>*. Адрес сервера *PostgreSQL*. По умолчанию: *localhost*;
- *port=<порт>*. Порт подключения к *PostgreSQL*. По умолчанию: 5432;

Рис. 5. Класс *Program*Рис. 6. Процесс создания таблицы *logs* в *pgAdmin4*

– *user*=<имя>. Имя пользователя базы данных;
 – *password*=<пароль>. Пароль для подключения;
 – *database*=<имя>. Название целевой базы данных;
 – *interval*=<мс>. Интервал между итерациями цикла имитации событий в миллисекундах. По умолчанию: 1000;

– *simulate-error*. Флаг, включающий аварийный режим. При его активации в сценарии будут генерироваться сообщения об ошибках;

– *log-level*=<0|1|2>. Уровень детализации логов: 0 – только ошибки, 1 – информационные сообщения, 2 – отладочный режим с максимальной детализацией;

– *duration*=<сек>. Продолжительность работы стенда в секундах.

Пример запуска данного приложения с использованием флагов показан на рис. 7.

Такой подход позволяет адаптировать стенд под различные потребности – от простых проверок соединения с базой данных до полноценных функциональных тестов сценариев автоматизации.

Итоговый запуск разработанной программы показан на рис. 8. Зеленой стрелкой показано взаимодействие программы с базой данных, в виде записи произошедших событий. Посредством выборки из базы данных просматриваются заполненные ячейки таблицы.

В итоге разработанный стенд как инструмент автоматизированного тестирования способствует повышению качества системы диспетчеризации промышленных процессов.

В результате разработки и запуска программного тестового стенда успешно реализуется имитационная среда для проверки логики SCADA-системы без использования физического оборудования. Программа, функционирующая как консольное приложение, позволяет точно воспроизводить типовые и аварийные сценарии работы, а также логировать все события в реальном времени с последующей записью в базу данных PostgreSQL.

Таким образом, результаты подтверждают, что:

- программа корректно обрабатывает как штатные, так и аварийные события;
- все логи выводятся в консоль в соответствии с заданным уровнем логирования;
- события точно записываются в базу данных PostgreSQL с временными метками;
- работа стенда ограничена заданной продолжительностью и завершается автоматически.

```

C:\Users\lotfullin.f.i\source\repos\TestStand\TestStand\bin\Debug\net8
.0>TestStand.exe --host=localhost --user=postgres --password=12345 --d
atabase=scada_test --simulate-error --interval=2000 --log-level=2 --du
ration=10
[ERROR] Аварийное событие: обрыв сигнала
[ERROR] Аварийное событие: обрыв сигнала
[ERROR] Аварийное событие: обрыв сигнала
[ERROR] Аварийное событие: обрыв сигнала
[ERROR] Аварийное событие: обрыв сигнала
Работа завершена.

C:\Users\lotfullin.f.i\source\repos\TestStand\TestStand\bin\Debug\net8
.0>
  
```

Рис. 7. Запуск программы с помощью флагов

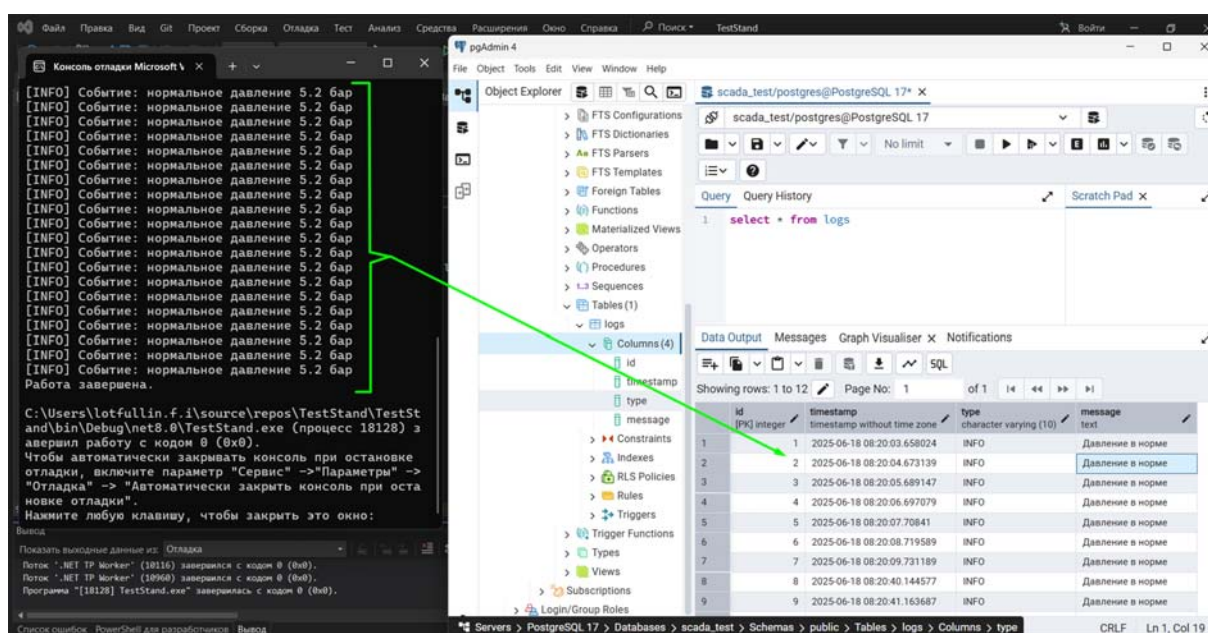


Рис. 8. Взаимодействие консольной программы и БД PostgreSQL

Полученные преимущества:

- возможность сценарного тестирования логики SCADA без необходимости подключения реальных ПЛК и датчиков;
- верификация корректности логирования, взаимодействия между приложением и БД;
- поддержка аварийных сценариев позволяет моделировать критические ситуации и анализировать реакции системы.

В дальнейшем можно произвести внедрение веб-интерфейса для визуализации данных и управления сценариями, расширение набора имитируемых сигналов и сценариев (в том числе с поддержкой расписаний и переменных нагрузок), интеграцию в пайплайны непрерывной интеграции (CI/CD) для автоматического тестирования версий SCADA-логики, поддержку экспорта логов в форматы JSON и CSV с возможностью визуальной аналитики, а также имитацию нестабильных и скачкообразных сигналов от ПЛК.

Вывод. Предложенное решение может служить как инструмент для ускоренной разработки, валидации SCADA-систем и как основа для построения более сложной платформы моделирования, тестирования в промышленной автоматике.

Список литературы

1. *Высочин С. В.* Построение информационных систем оперативной диспетчеризации производства: монография. М.: МГУДТ. 2011. 212 с.

УДК 004.62

И. В. МИРГАЛЕЕВА, д-р экономич. наук; **И. И. ФРОЛОВА**, канд. соц. наук (КИУ им. В. Г. Тимирязова, г. Набережные Челны); **Г. А. ГАРЕЕВА**, канд. пед. наук (КНИТУ-КАИ, г. Набережные Челны); **А. Г. ФАЙЗУЛЛИНА** (Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, г. Набережные Челны)
E-mail: gagareeva1977@mail.ru

I. V. Mirgaleeva, **I. I. Frolova** (Kazan Innovative University named after V. G. Timiryasov, Naberezhnye Chelny); **G. A. Gareeva** (Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI, Naberezhnye Chelny); **A. G. Faizullina** (Naberezhnye Chelny Institute (branch) of the Kazan (Volga) Federal University, Naberezhnye Chelny)

2. *Мичурин С. В., Семенова Е. Г.* Методы управления качеством программных комплексов диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте: монография. СПб: ГУАП. 2015. 245 с.

3. *Кангин В. В., Кангин М. В., Ямолдинов Д. Н.* Разработка SCADA-систем: уч. пособ. 2-е изд. Вологда: Инфра-Инженерия. 2024. 564 с.

4. *Козлов Д. П., Сергеева М. А.* Современные технологии в автоматизированных системах управления: монография. Новосибирск: СибАК. 2019. 280 с.

5. *Рогов Е.* PostgreSQL 16 изнутри: руководство. М.: ДМК Пресс. 2024. 664 с.

References

1. *Vysochin S. V.* *Postroenie informacionnyh sistem operativnoj dispetcherizacii proizvodstva* [Construction of information systems for operational production dispatching: monograph]. Moscow, MGUDT, 2011, 212 p.

2. *Michurin S. V., Semenova E. G.* *Metody upravlenija kachestvom programmnyh kompleksov dispetcherizacii prostranstvennyh processov na aviatransporte* [Methods of quality management of software packages for dispatching spatial processes in air transport: monograph]. St. Petersburg, GUAP, 2015, 245 p.

3. *Kangin V. V., Kangin M. V., Yamoldinov D. N.* *Razrabotka SCADA-sistem* [Development of SCADA systems: tutorial. 2nd ed.]. Vologda, Infra-Engineering, 2024, 564 p.

4. *Kozlov D. P., Sergeeva M. A.* *Sovremennye tehnologii v avtomatizirovannyh sistemah upravlenija* [Modern technologies in automated control systems: monograph]. Novosibirsk, SibAK, 2019, 280 p.

5. *Rogov E.* *PostgreSQL 16 iznutri* [PostgreSQL 16 from the inside: guide]. Moscow, DMK Press, 2024, 664 p.

Система автоматизации управления данными для повышения качества услуг в сфере грузоперевозок

Automated data management system for improving the quality of freight transportation services

Рассматривается система автоматизации управления данными для повышения качества услуг в сфере грузоперевозок, а именно проектирование и реализация базы данных, а также разработка веб-приложения для эффективного управления данными перевозок, клиентами, сотрудниками и транспортными средствами. Разработанная база данных

реализована в СУБД PostgreSQL с использованием специализированного инструментария для администрирования и тестирования. Веб-приложение реализовано с использованием языка PHP 8 и библиотеки PDO для работы с базой данных.

This article discusses an automated data management system for improving the quality of freight transportation services, specifically the design and implementation of a database, as well as the development of a web application for the efficient management of transportation data, clients, employees, and vehicles. The developed database is implemented in the PostgreSQL DBMS using specialized tools for administration and testing. The web application is implemented using PHP 8 and the PDO library for working with the database.

Ключевые слова: управление; качество услуг; базы данных; PostgreSQL; грузоперевозки; логистика; веб-приложение; автоматизация.

Keywords: management; service quality; databases; PostgreSQL; freight transportation; logistics; web application; automation.

Устойчивое положение и дальнейшее стабильное развитие автотранспортного предприятия, функционирующего в конкурентной среде, зависит, в первую очередь, от качества предоставляемых им транспортных услуг. В настоящее время решение проблемы повышения качества грузоперевозок становится еще более актуальным [1].

Автоматизация процессов обработки информации становится необходимостью для современных предприятий. В особенности это касается компаний, предоставляющих услуги грузоперевозок, где требуется точный учет клиентов, грузов, маршрутов и документов. В условиях увеличения объемов перевозок, сокращения сроков доставки и роста требований к качеству услуг эффективная система управления данными становится важным конкурентным преимуществом [2].

Разработка базы данных и веб-системы для управления грузоперевозками позволяет систематизировать все ключевые аспекты работы логистической компании, такие как учет клиентов, грузов, маршрутов, транспортных средств, сотрудников и документов, а также повысить прозрачность операций, ускорить обработку заявок и минимизировать ошибки, что в итоге приводит к снижению издержек и повышению удовлетворенности клиентов.

Цель данной работы – необходимость проектирования и разработки базы данных и веб-системы управления для автоматизации процессов учета клиентов, грузов, маршрутов, транспортных средств, сотрудников и состояния перевозок на предприятии, предоставляющем услуги грузоперевозок.

На начальном этапе исследования выполняется разработка инфологической модели (ER-диаграммы), отражающей основные сущности предметной области: клиент, грузы, типы груза, маршруты, транспорт, сотрудник, должности, перевозки, статус, типы документа, документы, тип транспорта. Определяются атрибуты каждой сущности, а также типы связей между ними, включая связи один-к-одному, один-ко-многим и многие-ко-многим.

Особое внимание при проектировании уделяется обеспечению целостности данных:

- для каждой сущности был определен первичный ключ;
- связи между сущностями реализованы через внешние ключи;
- введены каскадные правила для обновления и удаления данных, чтобы поддерживать логическую согласованность информации.

Связи между сущностями в модели отражают основные бизнес-процессы предприятия и подчинены общей задаче автоматизации процессов грузоперевозки и обеспечивают целостность данных [3].

Полная инфологическая модель представлена на рис. 1.

Преобразование ER-диаграммы в реляционную схему заключается в переводе сущностей, атрибутов и связей в таблицы реляционной базы данных. Этот процесс позволяет реализовать структуру данных в формате, совместимом с реляционной СУБД, такой как PostgreSQL.

Этапы преобразования [4]:

1. Преобразование сущностей в таблицы. Каждая сущность ER-диаграммы становится отдельной таблицей. Атрибуты сущности преобразуются в столбцы таблицы, а ключевые атрибуты определяются как первичные ключи (PK).

2. Преобразование связей в связи между таблицами. Связи между сущностями выражаются через внешние ключи (FK), которые указывают на первичные ключи связанных таблиц. Тип связи определяет способ их реализации.

На рис. 2 представлена логическая модель.

Физическая модель базы данных описывает реализацию логической структуры в конкретной системе управления базами данных (СУБД). Она включает выбор типов данных для хранения информации, определение ограничений целостности, индексов и других характеристик, необходимых для обеспечения производительности и надежности системы.

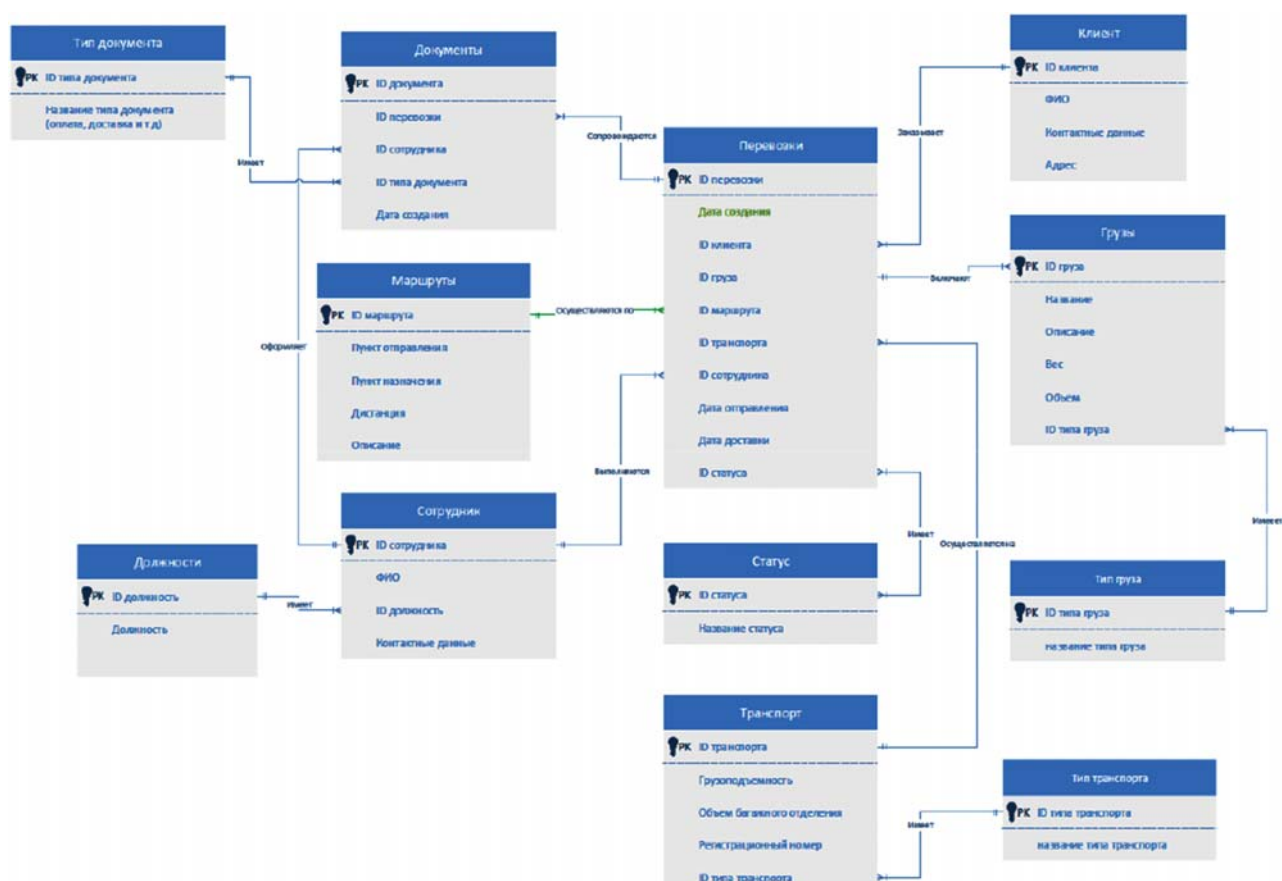


Рис. 1. Инфологическая модель в нотации Мартина

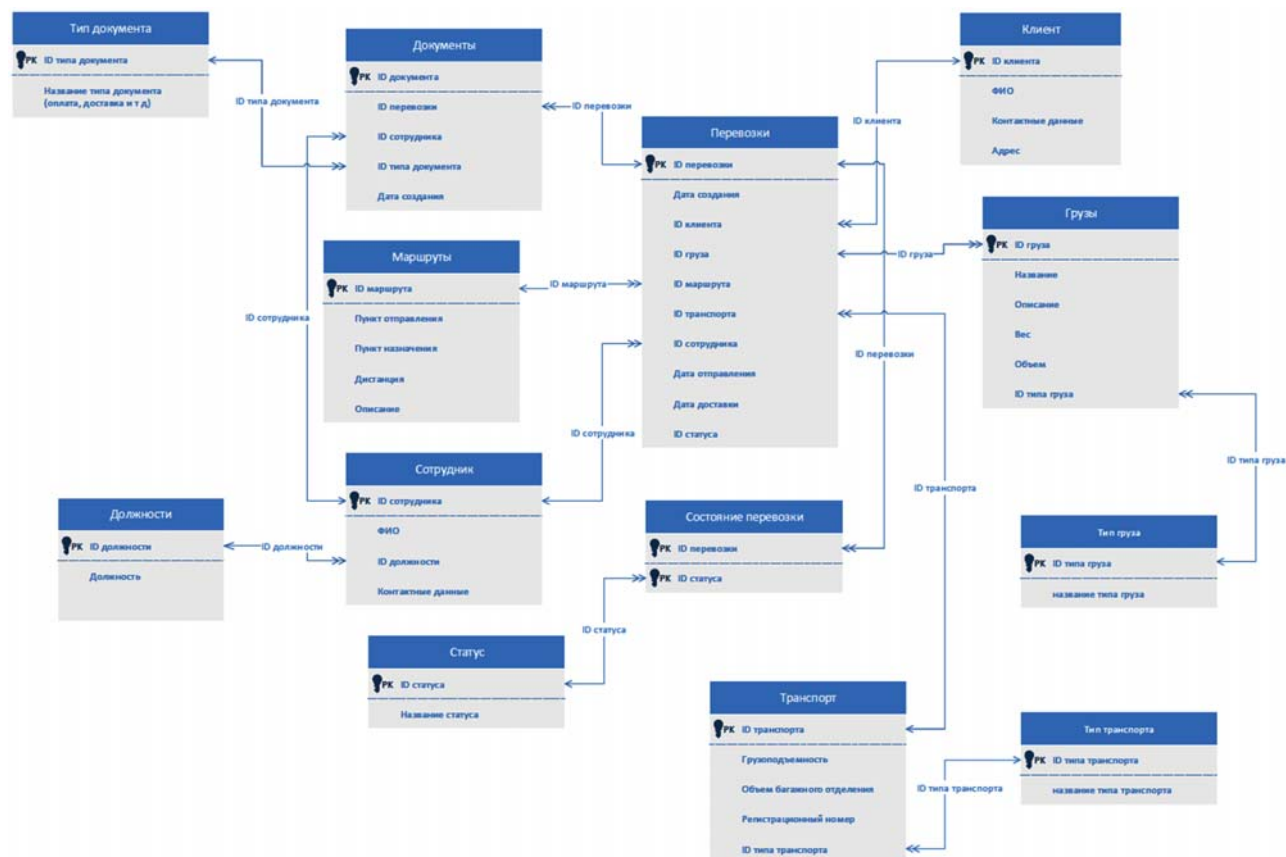


Рис. 2. Логическая модель

Основными свойствами физической модели являются [5]:

1. Типы данных. В базе данных используются подходящие типы данных для хранения информации: *SERIAL* для уникальных идентификаторов, *VARCHAR* для текстовых полей и *DATE* для дат. Это обеспечивает эффективное хранение и обработку данных.

2. Ограничения целостности. Для поддержания точности и связности данных применяются первичные и внешние ключи. Первичные ключи гарантируют уникальность записей, а внешние ключи обеспечивают правильные связи между таблицами.

3. Индексация. Автоматически создаются индексы для первичных и внешних ключей, что ускоряет операции поиска. При необходимости добавляются дополнительные индексы на часто запрашиваемые поля.

4. Целостность данных. Используются ограничения, такие как *NOT NULL* для обязательных полей, и проверочные условия (*CHECK*) для предотвращения ввода некорректных данных.

5. Оптимизация производительности. Применяются составные индексы и автоинкремент для уникальных идентификаторов, что позволяет сократить время выполнения операций.

Физическая модель представлена на рис. 3.

На следующем этапе разрабатывается веб-система для управления данными базы через браузерный интерфейс. Веб-приложение реализовано с использованием языка PHP 8 и библиотеки PDO для работы с базой данных.

Основные компоненты веб-приложения:

1. Интерфейс пользователя: формы для добавления, редактирования, удаления и просмотра данных по каждой таблице.

2. Бизнес-логика: серверные скрипты для обработки действий пользователя и выполнения запросов к базе данных.

3. Уровень доступа к данным: подключение к базе через безопасные подготовленные запросы (*prepared statements*), предотвращающие *SQL*-инъекции.

Архитектура приложения построена на основе принципов *MVC* (*Model-View-Controller*):

- *Model*: отдельные модули для работы с таблицами базы данных;
- *View*: *HTML*-страницы с интеграцией *PHP* для отображения данных;
- *Controller*: обработчики запросов, маршрутизация действий пользователя.

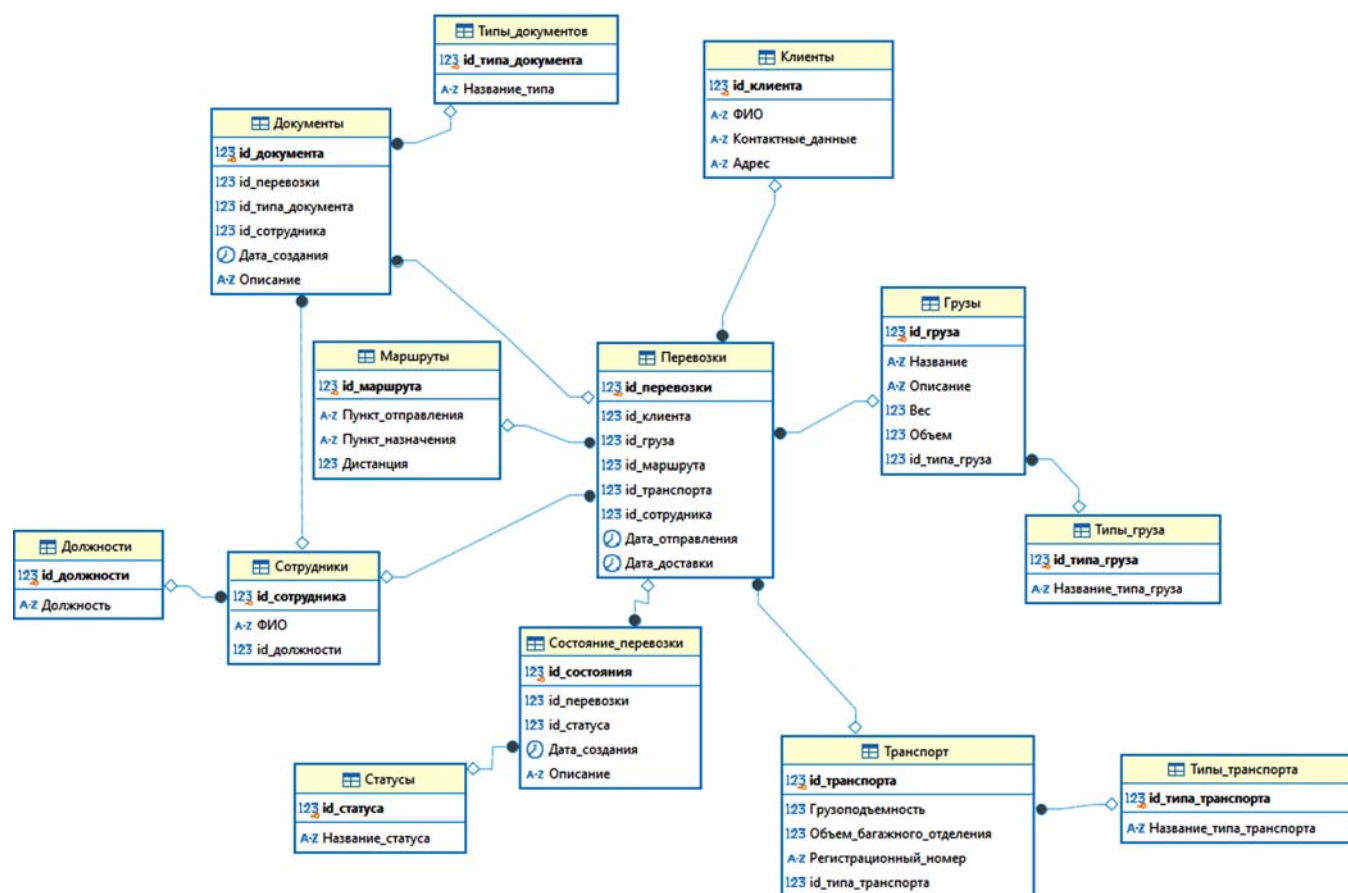


Рис. 3. Физическая модель

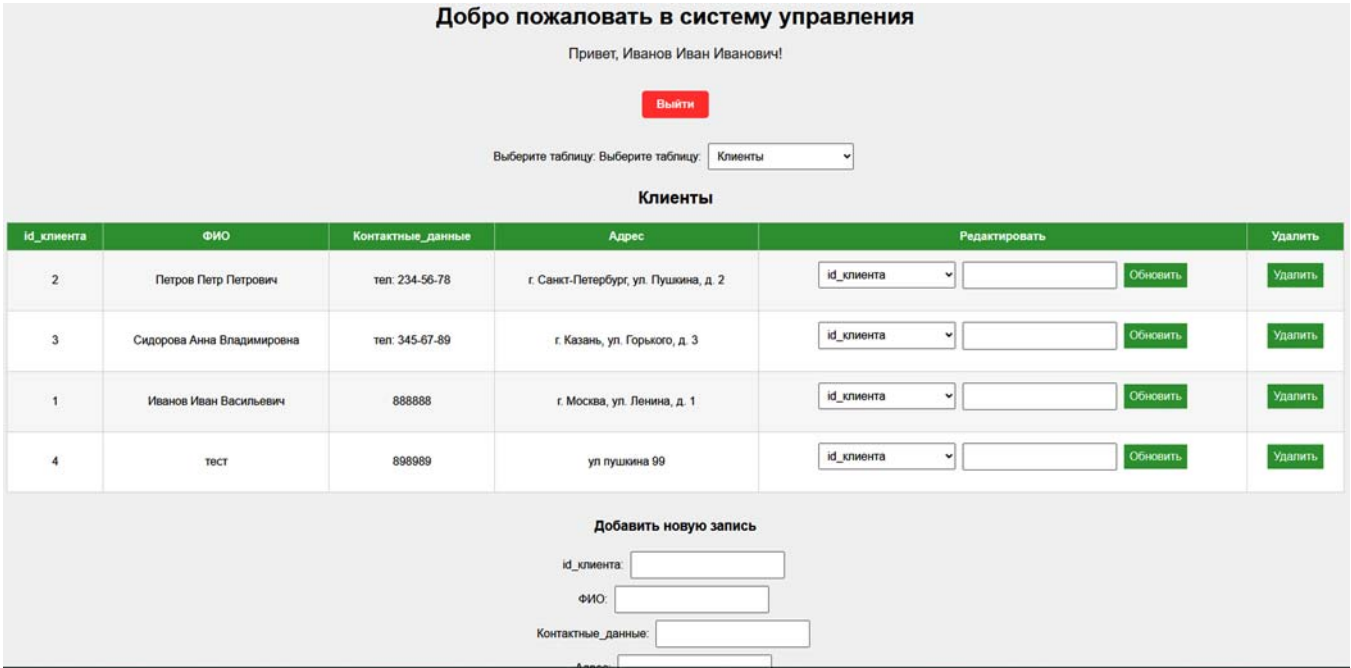


Рис. 4. Интерфейс приложения

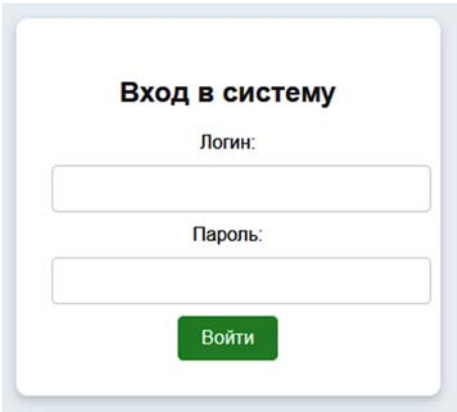


Рис. 5. Авторизация

Веб-приложение позволяет выполнять:

- управление клиентами, грузами, маршрутами, транспортом и сотрудниками;
- формирование новых заказов на перевозку;
- назначение транспортных средств и сотрудников на перевозки;
- отслеживание состояния заказов с возможностью обновления статусов;
- формирование документов, сопровождающих перевозки.

Интерфейс приложения реализован с учетом удобства пользователя: введены фильтры для поиска данных, постраничная навигация при большом объеме записей и механизмы подтверждения операций удаления (см. рис. 4).

Для обеспечения безопасности доступа к данным в системе реализована многоуровневая система ав-

торизации. Все пользователи перед получением доступа должны пройти процедуру аутентификации с использованием логина и пароля (см. рис. 5).

Данные о пользователях (логины, хэшированные пароли) хранятся в таблице сотрудников. В системе предусмотрены две категории пользователей:

- администратор имеет полный доступ ко всем функциям системы: добавление, редактирование, удаление любых записей, управление пользователями и настройками базы данных.
- обычный пользователь имеет ограниченные права: доступ только к просмотру данных и формированию отчетов.

Разграничение прав реализовано на уровне бизнес-логики:

1. При авторизации система определяет роль пользователя и на ее основе формирует доступные элементы интерфейса и действия.
2. Доступ к административным функциям скрыт для пользователей без соответствующих полномочий.
3. Все критические операции (например, удаление записей) требуют подтверждения действия и проверки прав пользователя.

Разработанная информационная система может быть применена:

1. На предприятиях малого и среднего бизнеса, предоставляющих услуги грузоперевозок.
2. В логистических компаниях, занимающихся транспортировкой товаров между городами.
3. В компаниях, организующих внутренние перемещения товаров между складами.

Система легко масштабируется и может быть адаптирована под специфику любого логистического бизнеса.

В процессе исследования проводится комплексная работа по разработке базы данных для предприятия, предоставляющего услуги в сфере грузоперевозок. В качестве первого этапа применяется метод анализа предметной области, целью которого является выявление ключевых сущностей, их характеристик и взаимосвязей, отражающих реальные бизнес-процессы предприятия.

На основании полученных данных построена инфологическая модель. Далее осуществляется преобразование *ER*-модели в реляционную схему базы данных, с формированием таблиц, определением первичных и внешних ключей, а также установлением ограничений целостности.

Для реализации физической модели используется система управления базами данных *PostgreSQL*. Связи между таблицами проектируются с применением каскадных операций для поддержания консистентности данных при удалении или изменении записей.

В результате разрабатывается система автоматизации управления данными для повышения качества услуг в сфере грузоперевозок. База данных построена на платформе *PostgreSQL* с учетом принципов нормализации и обеспечивает структурированное хранение информации о клиентах, грузах, маршрутах, транспортных средствах, сотрудниках и документах.

Реляционная модель базы данных позволяет эффективно обрабатывать большие объемы информации, поддерживает целостность связей между сущностями и легко масштабируется для расширения функциональности в будущем. Внедрение каскадных операций и внешних ключей значительно повысило надежность хранения данных и упростило администрирование.

Дополнительно для обеспечения удобного взаимодействия с базой данных разрабатывается веб-приложение на языке *PHP*, где применяется многослойная архитектура с четким разделением логики, данных и интерфейса пользователя. Для доступа к данным используется библиотека *PDO*, обеспечивающая безопасное взаимодействие с СУБД посредством подготовленных запросов. Реализация веб-приложения позволяет оперативно управлять всеми

асpekтами перевозочного процесса через удобный интерфейс. Веб-приложение позволяет выполнять все необходимые операции с данными: добавление, редактирование, удаление и просмотр записей, а также формирование отчетности и проведение поиска по различным критериям.

Проведенное исследование подтверждает, что интеграция базы данных и веб-системы управления значительно увеличивает эффективность работы предприятий и способствует повышению качества услуг в сфере грузоперевозок.

Список литературы

1. Лавров И. М. Управление качеством транспортного обслуживания грузовладельцев: анализ, методы оценки, эффективность: монография. М.: РУТ (МИИТ). 2019. 131 с.
2. Асалиев А. М. и др. Маркетинговый подход к управлению качеством транспортного обслуживания: монография. Новосибирск: ЦРНС. 2016. 171 с.
3. Остроух А. В., Суркова Н. Е. Проектирование информационных систем: монография. СПб: Лань. 2019. 164 с.
4. Назаров С. В. Архитектура и проектирование программных систем: монография, 2-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М. 2020. 374 с.
5. Козлов Д. П., Сергеева М. А. Современные технологии в автоматизированных системах управления: монография. Новосибирск: СибАК. 2019. 280 с.

References

1. Lavrov I. M. *Upravlenie kachestvom transportnogo obsluzhivaniya gruzovladel'cev: analiz, metody ocenki, effektivnost'* [Quality management of transport services to cargo owners: analysis, assessment methods, and efficiency: monograph]. Moscow, RUT (MIIT), 2019, 131 p.
2. Asaliev A. M. et al. *Marketingovyy podhod k upravleniju kachestvom transportnogo obsluzhivaniya* [Marketing approach to transport service quality management: monograph]. Novosibirsk, CRNS, 2016, 171 p.
3. Ostroukh A. V., Surkova N. E. *Proektirovanie informacionnyh sistem* [Design of information systems: monograph]. St. Petersburg, Lan', 2019, 164 p.
4. Nazarov S. V. *Arhitektura i proektirovanie programmyh sistem* [Architecture and design of software systems: monograph, 2nd ed., revised and enlarged]. Moscow, INFRA-M, 2020, 374 p.
5. Kozlov D. P., Sergeeva M. A. *Sovremennye tehnologii v avtomatizirovannyh sistemah upravleniya* [Modern technologies in automated control systems: monograph]. Novosibirsk, SibAK, 2019, 280 p.

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ, МАРКЕТИНГ

УДК

Н. Е. ЛЕБЕДЕВА, канд. экономич. наук (Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва)

E-mail: NELebedeva@fa.ru

N. E. Lebedeva (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow)

Механизмы обеспечения технологического суверенитета нефтегазового машиностроения России в условиях санкционных рисков

Mechanisms for ensuring Russia's technological sovereignty in oil and gas engineering industry in the face of sanctions risks

Статья посвящена исследованию механизмов обеспечения технологического суверенитета в области нефтегазового машиностроения России в условиях современных санкционных рисков. Автор анализирует влияние международных экономических ограничений на отрасль и рассматривает ключевые вызовы, стоящие перед российскими предприятиями в сфере нефтегазового машиностроения. Основное внимание уделяется стратегиям диверсификации поставок, разработке и внедрению новых технологий, а также повышению инновационного потенциала отечественного производства. Представлены возможные пути минимизации зависимости от иностранных поставок оборудования и технологий, включая развитие внутреннего производства, поддержку научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также предложения по стимулированию отечественных разработок в области машиностроения. Ожидается, что предложенные механизмы будут способствовать укреплению технологической независимости и повышению конкурентоспособности российской нефтегазовой отрасли.

The article is devoted to the study of mechanisms for ensuring technological sovereignty in the field of oil and gas engineering of Russia in the context of modern sanctions risks. The author analyzes the impact of international economic restrictions on the industry and considers the key challenges facing Russian enterprises in the field of oil and gas engineering. The main attention is paid to strategies for diversification of supplies, development and implementation of new technologies, as well as increasing the innovative potential of domestic production. The article presents possible ways to minimize dependence on foreign supplies of equipment and technologies, including the development of domestic production, support for research and development work, as well as proposals to stimulate domestic developments in the field of mechanical engineering. It is expected that the proposed mechanisms will help strengthen technological independence and increase the competitiveness of the Russian oil and gas industry.

Ключевые слова: технологический суверенитет; нефтегазовое машиностроение; санкционные риски; импортозамещение; механизмы; инновационные технологии; технологическая независимость; развитие отечественного производства.

Keywords: technological sovereignty; oil and gas engineering; sanctions risks; import substitution; mechanisms; innovative technologies; technological independence; development of domestic production.

Механизмы обеспечения технологического суверенитета нефтегазового машиностроения России в условиях санкционных рисков – это крайне важная и многогранная тема. В условиях международных санкций, которые оказывают влияние на техноло-

гическое развитие и производственные процессы, России предстоит разработать комплекс мероприятий для обеспечения своей технологической независимости в ключевых отраслях, в т. ч. в нефтегазовом машиностроении.

В последние годы мировая политическая и экономическая ситуация претерпела значительные изменения, особенно после введения международных санкций, затруднивших доступ к современным технологиям и высококачественным компонентам для различных отраслей, в т. ч. нефтегазового машиностроения. Для России, являющейся одной из крупнейших стран по добыче нефти и газа, обеспечение технологического суверенитета в нефтегазовом машиностроении становится ключевым фактором экономической безопасности. В условиях санкционного давления, который ограничивает возможности импорта передовых технологий и оборудования, России предстоит выработать комплексные механизмы обеспечения своей технологической независимости [1].

Основная часть

За последние десять лет нефтегазовая отрасль России, в т. ч. нефтегазовое машиностроение, претерпевает значительные изменения, обусловленные различными факторами, включая международные санкции, технологический прогресс и изменения на мировых рынках. Эти изменения требуют от России усиленной работы по обеспечению технологической независимости, инновационного развития и диверсификации поставок. Рассмотрим основные тенденции в развитии нефтегазового машиностроения России в условиях санкционных рисков за последний десятилетний период.

После введения международных санкций в 2014 г. Россия сталкивается с серьезными трудностями в плане поставок высокотехнологичных компонентов для нефтегазового оборудования, таких как турбины, насосы, компрессоры и буровое оборудование. В ответ на это принята стратегия «импортозамещения», направленная на создание отечественных аналогов и локализацию производства [2].

В рамках государственной программы импортозамещения российские производители активно наращивают объем локализации производства оборудования и комплектующих. Например, крупные нефтегазовые компании начинают создавать совместные предприятия с отечественными производителями для производства насосных станций, клапанов, турбин и других критически важных компонентов.

В последние годы открыто несколько новых заводов и производственных комплексов, которые занимаются производством бурового оборудования, трубопроводных систем, компрессоров, насосных и газовых турбин. Это позволяет значительно снизить зависимость от внешних поставок.

Россия продолжает развивать стандарты и сертификацию для продукции нефтегазового машино-

строения, что позволяет местным производителям удовлетворять требования не только внутреннего рынка, но и зарубежных партнеров, особенно стран СНГ и Азии [3].

Санкции становятся катализатором для активного «развития технологий» и «инновационных решений» в нефтегазовом машиностроении. В условиях ограниченного доступа к зарубежным технологиям российские компании ориентируются на разработку собственных решений и адаптацию зарубежных технологий для нужд отечественной промышленности.

Рассмотрим на примере нескольких крупных предприятий нефтегазового машиностроения тенденции развития (см. табл. 1). Крупные игроки (ТМК, ОМЗ) демонстрируют значительно большую выручку и устойчивость к шокам, тогда как региональные и небольшие производители (СтальБурМаш, Сура-Нефтехиммаш) имеют ограниченные ресурсы для НИОКР и локализации. ТМК показывает рост в 2022 г. и снижение в 2023 (связано с циклическими факторами, переоценками и влиянием внешних рынков). ОМЗ и Уралмаш демонстрируют фрагментарные, но положительные тренды по модернизации и развитию продуктовой линейки. В ответ на санкции компании смещают акцент в сторону локализации компонентной базы и развития сервисных услуг (ремонт, сервисно-техническая поддержка) как способа снижения импортной уязвимости.

Таблица 1

Выручка крупных компаний отрасли
за период 2021–2023 гг., млн руб.

Компания	2021	2022	2023
ТМК	428 981	629 185	544 265
ОМЗ	–	–	26 007
Уралмаш	11 405	25 391	26 006

Так, резкий рост в 2022 г. в ТМК связан с восстановлением спроса и переоценками (высокая доля экспортных контрактов и цены на трубы). Снижение в 2023 г. указывает на корректировку рынка, возможные логистические барьеры и перепрофилирование поставок. Для ПАО «ОМЗ» смещение в сторону налаживания кооперации в машиностроении и диверсификации заказов (включая оборонные/инфраструктурные контракты). Для Уралмаш рост указывает на расширение сервисных услуг и локализацию сборки крупного оборудования. Для указанных предприятий в качестве основных рисков развития следует выделить следующие слабые стороны, представленные на рис. 1.

В качестве критических импортных компонентов следует выделить высокоточные подшипники, элементы автоматики, специализированные сплавы

остаются «узкими местами». Перестройка экспортных цепочек и санкционные барьеры повышают стоимость сырьевых закупок и сроков поставки комплектующих.

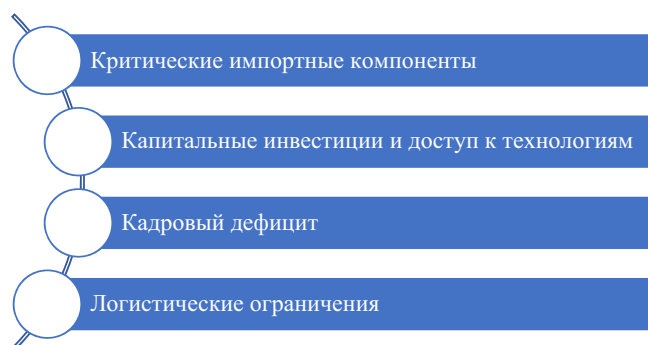


Рис. 1. Основные риски и слабые стороны развития крупных компаний нефтегазового машиностроения

В последние годы наблюдается активное внедрение «цифровых технологий» в процесс проектирования и производства нефтегазового оборудования. В частности, активно используются системы автоматизации и мониторинга, а также «программные решения» для оптимизации процессов добычи и транспортировки нефти и газа.

Тем не менее в высокотехнологичных секторах (микроэлектроника, системы управления, софтверная интеграция) сохраняется высокая степень импортозависимости согласно табл. 2.

Таблица 2

Уровень локализации по основным сегментам нефтегазового машиностроения РФ

Сегмент	Уровень локализации, %	Основные вызовы
Насосно-компрессорное оборудование	65–70	Износ оборудования, технологическое отставание
Трубопроводная арматура	55–60	Сложности в обеспечении качества и сертификации
Буровые установки	50–60	Зависимость от иностранных компонентов
Электронные и управляющие системы	10–20	Критическая зависимость от импорта

Для повышения долговечности и снижения стоимости нефтегазового оборудования российские компании начинают активно разрабатывать новые материалы, включая коррозионностойкие сплавы, высокопрочные стали, а также материалы для производства оборудования, которое будет работать в экстремальных климатических условиях России [4].

В рамках инициативы «Пояс и путь» китайские компании также оказывают поддержку в строительстве новых нефтегазовых магистралей, таких как газопровод «Сила Сибири», что способствует диверсификации поставок и снижению зависимости от европейских маршрутов.

Для стимулирования инновационного развития и модернизации отечественного производства российское государство продолжает активно поддерживать местных производителей через различные формы финансовой помощи.

Санкции и ограничения на поставки западных технологий становятся стимулом для сокращения зависимости от зарубежных производителей. В ответ на эти меры Россия начинает активно использовать параллельный импорт, обеспечивая поставки недостающих комплектующих и оборудования через страны, не участвующие в санкциях, такие как Турция, Китай, Казахстан и другие. В некоторых случаях компании начинают переходить на российские аналоги западных технологий, несмотря на их технологическую отсталость. В долгосрочной перспективе это может привести к созданию конкурентоспособных и уникальных решений, которые будут востребованы на мировом рынке [5].

Учитывая увеличение масштабов проектов по добыче и транспортировке нефти и газа в России, а также стремление страны к энергетической независимости, спрос на высококачественное нефтегазовое оборудование продолжает расти.

Для удовлетворения возрастающих потребностей в добыче и транспортировке нефти и газа, российские компании активно обновляют парк оборудования и создают новые виды высокотехнологичных установок для бурения, насосов, компрессоров и т. д.

В последние годы наблюдается рост внимания к вопросам экологии и энергоэффективности. Поэтому российские компании начинают разрабатывать решения, которые соответствуют новым экологическим стандартам, включая оборудование для переработки газа и утилизации углекислого газа [6].

Тенденции в нефтегазовом машиностроении можно схематично показать следующим образом согласно рис. 2.

Таким образом, длительная зависимость от западных технологий и компонентов ставит российское машиностроение в уязвимое положение в условиях введения международных санкций. Для обеспечения технологического суверенитета и стабильности в нефтегазовой сфере требуется активная работа по созданию внутренних механизмов производства и технологий, что позволяет минимизировать воздействие внешних факторов [7].



Рис. 2. Изменение в российском нефтегазовом машиностроении

Изучение особенностей развития нефтегазового машиностроения позволяет проанализировать основные аспекты механизмов обеспечения технологического суверенитета нефтегазового машиностроения России в условиях санкционных рисков.

1. Развитие отечественного производства и модернизация технологий.

Основной задачей для России является развитие собственного производства в области нефтегазового машиностроения, что позволит сократить зависимость от иностранных поставок. Важнейшими элементами этого процесса являются:

Модернизация существующих мощностей. Для обеспечения технологического суверенитета необходимо привести в соответствие с современными требованиями старые производственные мощности, повысив их эффективность. Внедрение новых технологий и автоматизированных систем управления позволяет не только повысить качество, но и значительно сократить сроки производства, что особенно важно в нефтегазовой отрасли.

Разработка новых материалов. Для создания конкурентоспособного оборудования необходимо активно разрабатывать и внедрять инновационные материалы, устойчивые к воздействию высоких температур и давлений, а также к агрессивной среде, в которой работает нефтегазовое оборудование [8, 9].

Увеличение локализации производства. Для снижения зависимости от иностранных поставок критически важных комплектующих следует активно развивать внутреннее производство. Увеличение доли локализованных узлов и агрегатов является необходимым шагом в этом направлении.

2. Налаживание новых партнерских связей.

В условиях санкций России важно наладить новые партнерские отношения, которые позволят избежать технологической изоляции и усилить суверенитет:

Сотрудничество с азиатскими странами. Китай, Индия, Казахстан и другие страны могут стать важными партнерами России в области поставок технологий, оборудования и сырья. Развитие двусторонних и многосторонних соглашений в сфере нефтегазового машиностроения помогает России найти альтернативы западным поставкам.

Партнерства в рамках Евразийского экономического союза (ЕАЭС) и ОДКБ. Сотрудничество с государствами этих организаций также может способствовать технологической независимости, особенно в условиях санкционного давления.

3. Для минимизации рисков, связанных с международными санкциями, необходимо искать новые источники сырья и комплектующих, а также развивать собственные ресурсы.

Долгосрочные контракты с новыми партнерами. Россия должна развивать долгосрочные контракты со странами, которые не подвержены санкциям, и которые могут предоставить необходимые ресурсы и технологии для развития нефтегазового машиностроения.

Использование местных ресурсов. Разработка новых технологий переработки местных источников нефти и газа позволит не только улучшить внутреннюю промышленность, но и снизить зависимость от внешних поставок сырья и материалов [10–12].

4. Образование и подготовка кадров

Для успешной реализации технологического суверенитета крайне важным является наличие квалифицированных специалистов в области нефтегазового машиностроения. В этом направлении необходимо:

5. Развитие НИОКР.

Защита патентов и авторских прав. Важно обеспечить надежную защиту российских патентов и технологий от несанкционированного использования иностранными компаниями, а также создать систему защиты интересов отечественных производителей на глобальной арене.

6. Правовое обеспечение и защита интеллектуальной собственности

Развитие системы защиты интеллектуальной собственности необходимо для обеспечения безопасности отечественных производителей и предотвращения утраты уникальных технологических решений, что включает в себя:

Разработку и внедрение отечественных стандартов и сертификаций.

Защиту патентов и научных разработок от внешних угроз.

Примеры реализуемых инициатив:

Программа импортозамещения в России, предоставляющая финансовую поддержку для замены

иностранных комплектующих и технологий на отечественные аналоги.

Программы поддержки отечественных производителей машин и оборудования для нефтегазовой отрасли, включая буровые установки, насосы, трубопроводные системы и другие [13–16].

Обеспечение технологического суверенитета в нефтегазовом машиностроении России в условиях санкций требует комплексного подхода, который включает развитие внутреннего производства, поддержку инноваций, создание новых партнерств и укрепление научно-исследовательской базы. Важно,

чтобы государственная политика поддерживает отечественные предприятия и стимулирует их участие в разработке новых технологий. В условиях изменяющейся мировой экономики и политической ситуации технологическая независимость нефтегазового машиностроения станет основой для устойчивого развития и обеспечения национальной безопасности России [17–21].

Таким образом, изучение аспектов механизмов обеспечения технологического суверенитета позволяет выделить ряд преимуществ и недостатков (см. табл. 3).

Таблица 3

Преимущества и недостатки механизмов обеспечения технологического суверенитета

№	Механизм	Преимущества	Недостатки / риски	Законодательная / нормативная база (примеры)	Институциональная база (кто реализует)	Примеры на конкретных предприятиях
1	Государственное стимулирование локализации производства (целевая поддержка, СПИ-Кы, преференции)	Ускоряет перевод цепочек на отечественные комплектующие; обеспечивает гарантированные заказы; снижает уязвимость к санкциям	Риск неэффективного распределения льгот; возможное снижение конкуренции и качества при долгой защите рынка	Нормативы по специнвестконтрактам; программы импортозамещения; отраслевые нацпроекты	Минпромторг, Минэнерго, региональные власти, госкорпорации	ТМК – локализация трубной продукции в заводских комплексах; ОМЗ – проекты локализации корпусных узлов
2	Финансовая поддержка НИОКР и модернизации (субсидии, льготные кредиты, гранты)	Повышает технологическую самостоятельность; ускоряет разработку отечественных аналогов; снижает зависимость от импорта технологий	Требует больших бюджетных вложений; риск несоответствия результатов потребностям отрасли	Государственные грантовые программы, фонды поддержки инноваций, льготное кредитование	Минпромторг, Фонд развития промышленности, банки, Фонд развития малого бизнеса	ОДК-Сатурн – инвестиции в R&D/инжиниринг; Уралмаш – модернизация производственных линий (примерный профиль)
3	Создание технологических консорциумов и кластеров (кооперация «большой завод – малые поставщики»)	Обеспечивает передачу технологий, гибкость цепочки поставок, развитие МСП; снижает логистические риски	Сложности координации; риск концентрации зависимости от одного крупного потребителя	Региональные программы развития кластеров; поддержка кластерных инициатив	Региональные управления, корпорации (Ростех/Росатом/РФПИ при отраслевой кооперации), отраслевые ассоциации	Кластеры вокруг крупных заводов (пример: кооперация ТМК с местными поставщиками труб и фитингов)
4	Развитие сервисной экономики (ЛТО: обслуживание, ремонт, сервисные центры)	Быстрая диверсификация доходов; снижает потребность в импорте готовых изделий; наращивает компетенции в ремонте и модернизации	Менее высокодоходно, чем продажа оборудования; требует стандартизации и сертификации	Правила сертификации, субсидии на создание сервисных центров	Нефтегазовые компании-заказчики, промпредприятия, сервисные операторы	Уралмаш – развитие сервисных подразделений; мелкие компании – сервисы по ремонту бурового оборудования
5	Кадровые меры (образование, корпоративные университеты, дуальное обучение)	Формирует квалифицированные инженерные кадры; снижает дефицит специалистов; ускоряет внедрение сложных технологий	Требует времени для подготовки кадров; необходимость долгосрочных инвестиций	Государственные программы подготовки кадров, гранты на образование	Вузы (МГТУ, профильные университеты), корпоративные университеты, Минобрнауки	Корпоративные программы стажировок/переподготовки на ТМК, ОМЗ, совместные учебные программы с вузами

Окончание табл. 3

№	Механизм	Преимущества	Недостатки / риски	Законодательная / нормативная база (примеры)	Институциональная база (кто реализует)	Примеры на конкретных предприятиях
6	Развитие цифровых и аддитивных технологий (CAD/CAM, 3D-печать, цифровые двойники)	Ускоряет прототипирование и локальное производство сложных деталей; снижает потребности в некоторых импортных узлах	Высокая стоимость внедрения; потребность в квалифицированных кадрах; вопросы сертификации	Госпрограммы цифровизации промышленности; стандарты цифрового производства	Цифровые центры при холдингах, научные институты, технопарки	Пилотные проекты 3D-печати компонентов и цифровых двойников на крупных заводах (ориентир)
7	Развитие собственной компонентной базы (металлообработка, сплавы, автоматика)	Снимает «узкие места» по критичным компонентам; укрепляет технологические цепочки	Долго по срокам; требует больших капиталовложений и научной базы	Инвестиционные программы, субсидии на локализацию критичных технологий	Минпромторг, научно-технические центры, частные инвесторы	Программы локализации подшипников, систем автоматизации и электроники на базе предприятий и научных институтов
8	Юридическая/правовая защита и стандартизация (сертификация, импортозамещение в госзакупках)	Стабильная правовая среда для локальных производителей; стимулирование спроса через госзаказы	Риск протекционизма, нарушений конкуренции; необходимость балансировать с качеством	Закон о госзакупках, постановления о приоритете отечественного оборудования	Правовые департаменты министерств, Федеральная антимонопольная служба (контроль)	Использование требований по локализации в тендерах на поставку оборудования крупнейшими нефтекомпаниями
9	Новые международные партнерства (альтернативные рынки, технологические альянсы)	Доступ к технологиям и рынкам вне санкционных зон; диверсификация цепочек поставок	Риски политического характера; сложности интеграции стандартов и логистики	Международные соглашения, межгосударственные программы	Экспортные отделы компаний, Минпромторг, внешнеторговые агентства	Сотрудничество с партнерами из дружественных стран в рамках кооперации и технологий (пример: поставки комплектующих/совместные проекты)
10	Инструменты форсайта и технологического мониторинга	Проактивное выявление рисков и приоритетов; планирование дорожных карт локализации	Требуется устойчивого финансирования и взаимодействия между наукой и бизнесом	Методики форсайта, ведомственные программы развития технологий	Научные центры, аналитические подразделения Минпромторга, отраслевые НИИ	Внедрение технологических карт и дорожных карт локализации на уровне холдингов и отраслевых ассоциаций

Санкции, введенные в отношении России после 2014 г., затрудняют доступ к ключевым компонентам и технологиям, которые используются в нефтегазовом машиностроении. Прежде всего, это касается поставок специализированного оборудования для бурения, компрессорных станций и оборудования для переработки углеводородов. Например, западные компании, такие как *Halliburton*, *Schlumberger* и *Baker Hughes*, являются основными поставщиками в области бурения и геофизических исследований. После введения санкций, эти компании приостанавливают свою деятельность в России, что вызывает дефицит необходимого оборудования и технологий [13–15, 19, 22].

Для устранения зависимости от зарубежных технологий необходимо разработать новые стандарты и

сертифицировать отечественное оборудование, что, однако, не всегда возможно сделать быстро. В условиях санкций российские предприятия вынуждены искать альтернативные решения [23–26].

Компания «Технопромэкспорт» налаживает выпуск комплексов для добычи нефти и газа, включающих насосные и компрессорные станции, что ранее поставляется исключительно западными компаниями. Сейчас эти комплексы работают на крупнейших нефтегазовых месторождениях в Сибири и на Дальнем Востоке.

Инновационные центры обеспечивают не только научную и технологическую базу, но и предоставляют платформу для стартапов и разработчиков, работающих над инновационными решениями для нефтегазового машиностроения.

Преимущества локализации производства очевидны: это снижение зависимости от внешних поставок, создание новых рабочих мест и повышение безопасности. Однако есть и ряд вызовов, которые предстоит преодолеть.

Одним из основных препятствий является нехватка высококвалифицированных специалистов. В условиях санкций предприятия сталкиваются с дефицитом кадров, работающих в сфере НИОКР, а также инженеров и техников, способных адаптировать и внедрять новые технологии. Для решения этой проблемы необходимо активизировать подготовку специалистов через специализированные образовательные программы и поддержку научных исследований в университетах [15–20, 23].

Хотя внедрение новых технологий и локализация производства обеспечат долгосрочную независимость, на первоначальных этапах это потребует значительных финансовых вложений. Эти затраты связаны с необходимостью модернизации инфраструктуры, закупки нового оборудования и разработки инновационных решений. Реализация механизмов обеспечения технологического суверенитета в нефтегазовом машиностроении позволит значительно уменьшить зависимость России от иностранных технологий и компонентов. Стратегии диверсификации поставок, поддержка НИОКР и развитие внутренних производств сыграют ключевую роль в обеспечении устойчивости и независимости нефтегазовой отрасли. Однако для достижения этих целей необходимы долгосрочные инвестиции в науку, технологии и кадры, а также усиленная поддержка со стороны государства и частного сектора.

Выводы. 1. Несмотря на сложные вызовы, российская нефтегазовая отрасль имеет потенциал для достижения технологической независимости, что обеспечит ее стабильное развитие в условиях глобальных экономических и политических рисков.

2. Технологический суверенитет в нефтегазовом машиностроении России требует комплексного подхода, включающего как государственные меры поддержки, так и активные действия со стороны бизнеса, научного сообщества и образовательных учреждений.

3. В условиях санкционных рисков важнейшими факторами успеха будут являться: диверсификация поставок, развитие локальных технологий и наращивание производственных мощностей.

Список литературы

1. Переход С. А., Мхитрян А. В., Селифонкина Д. С. Международные санкции против России (2014–2024 гг.): оценка и последствия для финансового рынка // Вестник Ин-

ститута экономики Российской академии наук. 2024. № 4. С. 116–138.

2. Марюнина И. Н. Управление процессом импортозамещения в нефтегазовой отрасли России в условиях санкций // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки. 2020. № 4. С. 35–41.

3. Приходько И. И. Теоретические аспекты концепции технологического суверенитета // Учетные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Экономика и управление. 2022. Т. 8 (74). № 4. С. 88–96.

4. Шабыкова М. А. Направления развития промышленности России в условиях санкционных ограничений // Финансовые рынки и банки. 2023. № 1. С. 115–120.

5. Обеспечение технологического суверенитета и структурной модернизации в нефтегазовом комплексе России // Энергетическая политика. URL: <https://energypolicy.ru/obespechenie-tehnologicheskogo-suvereniteta-i-strukturnoj-modernizaczii-v-neftegazovom-komplekse-rossii/neft/2024/12/26/>.

6. Распоряжение Правительства РФ от 20 мая 2023 г. № 1315-р «Об утверждении Концепции технологического развития на период до 2030 г.».

7. В нацпроектах технологический суверенитет трансформировался в лидерство // Независимая газета. URL: https://www.ng.ru/economics/2024-11-24/4_9141_sovereignty.html.

8. ТЭК России: итоги года 2023 и ожидания 2024 // МГИМО. URL: https://mgimo.ru/about/news/experts/tek-rossii-2023/?utm_source=yandex.kz&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.kz&utm_referrer=yandex.kz.

9. Колпаков А. Ю., Савенко В. В. Анализ зависимости секторов топливно-энергетического комплекса России от импортного оборудования на основе публичных данных // Проблемы прогнозирования. Отрасли и межотраслевые комплексы. 2023. № 1. С. 144–155.

10. Полянская И. Г. и др. Идентификация текущего состояния цифровой трансформации лидеров нефтегазовой отрасли России // Известия УГГУ. 2022. Вып. 4 (68). С. 139–150.

11. Харитонова Н. А., Харитонова Е. Н., Пуляева В. Н., Кунанбаева К. Б. Проблемы управления градообразующими организациями черной металлургии // Металлург. 2016. № 6. С. 4–13.

12. Харитонова Н. А., Харитонова Е. Н., Пуляева В. Н., Кунанбаева К. Б. Классификация градообразующих организаций моногородов российской федерации // Экономика промышленности. 2015. № 4. С. 24–31.

13. Лебедева Н. Е. Конгломератные поглощения как источник финансирования приоритетного направления деятельности компаний // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. 2011. № 1. С. 628–632.

14. Лебедева Н. Е. Территории опережающего социально-экономического развития как условие повышения конкурентоспособности машиностроения России // Проблемы экономики и юридической практики. 2022. Т. 18. № 4. С. 176–182.

15. Моттаева А. Б., Трофимов Д. Г. Новая тенденция глобальных промышленных изменений ТЭК и ее влияние

на развитие науки и технологий в России // Экономика строительства. 2025. № 7. С. 406–409.

16. Нежникова Е. В., Моттаева А. Б., Зайнуллин С. Б., Трофимов Д. Г. Состояние и перспективы развития внутреннего и внешнего рынка ТЭК России в условиях геополитической неопределенности // Экономическое развитие России. 2025. Т. 32. № 4. С. 150–156.

17. Желтенков А. В., Прохвятилов А. М., Моттаева А. Б. Формирование стратегий импортозамещения отечественными предприятиями в условиях санкций // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. 2017. № 1. С. 40–47.

18. Джолдошева Т. Ю., Моттаева А. Б. Влияние инновационных элементов инфраструктуры на устойчивое развитие атомной энергетики России // КШП. ОМД. 2025. № 4. С. 184–192.

19. Бурцева Т. А., Моттаева А. Б., Лантев Е. А. Структура проектной команды как элемент кадровой стратегии предприятия // Вестник Московского университета им. С. Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2025. № 2 (53). С. 90–97.

20. Прядко И. П. Задачи российской экономики в свете санкционного давления Запада: внутривитический аспект // Экономика и предпринимательство. 2016. № 2–2 (67). С. 798–803.

21. Моттаева А. Б., Родионов Д. Г. Пространственное распределение транспортной инфраструктуры как основа развития предпринимательских структур региона. СПб: Астерион. 2011. 175 с.

22. Бойков А. И., Моттаева А. Б. Новая парадигма развития региональной экономики // Экономика и предпринимательство. 2014. № 11–2 (52). С. 174–178.

23. Моттаева А. Б. Новые положения кластерной политики для теории территориального развития социально-экономических систем депрессивного региона // Мир экономики и права. 2011. № 11. С. 7–14.

24. Radushinsky D., Mottaeva A., Andreeva L., Dyakova G. The evaluation of the modernization cost of the transport infrastructure of the Northern Sea Route in the Arctic zone of the Russian Federation // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 90. Pp. 012137.

25. Mottaeva A. Procedure for Determining Integral Index of Motor Transport Enterprises Competitiveness as the Basis of Shaping Regional Programs of Transport Infrastructure Development // MATEC Web of Conferences. 2016. Vol. 106. Pp. 08072.

26. Akhmetshina L., Sergeev A., Mottaeva A. Influence of organic agriculture on the development of green economy // E3S Web of Conferences: 2018 Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics. 2018. Vol. 91. Pp. 06008.

References

1. Perehod S. A., Mkhitryan A. V., Selifonkina D. S. International sanctions against Russia (2014–2024): assessment and consequences for the financial market. *Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*, 2024, no. 4, pp. 116–138.

2. Maryunina I. N. Management of the import substitution process in the Russian oil and gas industry under sanctions. *State and Municipal Administration. Scientific Notes*, 2020, no. 4, pp. 35–41.

3. Prikhodko I. I. Theoretical aspects of the concept of technological sovereignty. *Accounting notes of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Economics and Management*, 2022, vol. 8 (74), no. 4, pp. 88–96.

4. Shabykova M. A. Trends in the development of Russian industry in the context of sanctions restrictions. *Financial Markets and Banks*, 2023, no. 1, pp. 115–120.

5. Ensuring technological sovereignty and structural modernization in the Russian oil and gas industry. *Energy Policy*, available at: <https://energypolicy.ru/obespechenie-tehnologicheskogo-suvereniteta-i-strukturnoj-modernizacii-v-neftegazovom-komplekse-rossii/neft/2024/12/26> / Date of access: 07/20/2025.

6. *Ob utverzhdenii Konceptii tehnologicheskogo razvitiya na period do 2030 g.* [On Approval of the Concept of Technological Development for the period up to 2030]. Decree of the Government of the Russian Federation no. 1315-r dated 20.05.2023.

7. In national projects, technological sovereignty has been transformed into leadership. *Nezavisimaya Gazeta*, available at: https://www.ng.ru/economics/2024-11-24/4_9141_sovereignty.html Date of application: 07/20/2025.

8. Fuel and Energy Complex of Russia: results of the year 2023 and expectations for 2024. *MGIMO*, available at: https://mgimo.ru/about/news/experts/tek-rossii-2023/?utm_source=yandex.kz&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.kz&utm_referrer=yandex.kz

9. Kolpakov A. Yu., Savenko V. V. Analysis of the dependence of the sectors of the fuel and energy complex of Russia on imported equipment based on public data. *Forecasting problems. Branches and Intersectoral Complexes*, 2023, no. 1, pp. 144–155.

10. Polyanskaya I. G. et al. Identification of the current state of digital transformation of the leaders of the Russian oil and gas industry. *Izvestiya UGGU*, 2022, vol. 4 (68), pp. 139–150.

11. Kharitonova N. A., Kharitonova E. N., Pulyaeva V. N., Kunanbayeva K. B. Management problems of city-forming organizations of ferrous metallurgy. *Metallurg*, 2016, no. 6, pp. 4–13.

12. Kharitonova N. A., Kharitonova E. N., Pulyaeva V. N., Kunanbayeva K. B. Classification of urban-forming organizations of single-industry towns of the Russian Federation. *Economics of Industry*, 2015, no. 4, pp. 24–31.

13. Lebedeva N. E. Conglomerate acquisitions as a source of financing for priority areas of companies. *RISK: Resources, Information, Supply, Competition*, 2011, no. 1, pp. 628–632.

14. Lebedeva N. E. Territories of advanced socio-economic development as a condition for increasing the competitiveness of Russian engineering. *Problems of Economics and Legal practice*, 2022, vol. 18, no. 4, pp. 176–182.

15. Mottaeva A. B., Trofimov D. G. A new trend of global industrial changes in the fuel and energy complex and its impact on the development of science and technology in Russia. *Economics of construction*, 2025, no. 7, pp. 406–409.

16. Nezhnikova E. V., Mottaeva A. B., Zainullin S. B., Trofimov D. G. The state and prospects of development of the domestic and foreign fuel and energy complex market of Russia in conditions of geopolitical uncertainty. *Economic development of Russia*, 2025, vol. 32, no. 4, pp. 150–156.
17. Zheltenkov A. V., Prokhvatilov A. M., Mottaeva A. B. Formation of import substitution strategies by domestic enterprises in the context of sanctions. *Bulletin of the Moscow State Regional University. Series: Economics*, 2017, no. 1, pp. 40–47.
18. Dzholdosheva T. Yu., Mottaeva A. B. The impact of innovative infrastructure elements on the sustainable development of Russia's nuclear power industry. *Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*, 2025, no. 4, pp. 184–192.
19. Burtseva T. A., Mottaeva A. B., Laptev E. A. The structure of the project team as an element of the personnel strategy of the enterprise. *Bulletin of the Witte Moscow University. Series I: Economics and Management*, 2025, no. 2(53), pp. 90–97.
20. Pryadko I. P. The tasks of the Russian economy in the light of Western sanctions pressure: an internal political aspect. *Economics and Entrepreneurship*, 2016, no. 2–2 (67), pp. 798–803.
21. Mottaeva A. B., Rodionov D. G. *Prostranstvennoe raspredelenie transportnoj infrastruktury kak osnova razvitiya predprinimatel'skih struktur regiona* [Spatial distribution of transport infrastructure as a basis for the development of business structures in the region]. Saint Petersburg, Asterion, 2011, 175 p.
22. Boikov A. I., Mottaeva A. B. A new paradigm of regional economic development. *Economics and Entrepreneurship*, 2014, no. 11–2 (52), pp. 174–178.
23. Mottaeva A. B. New provisions of cluster policy for the theory of territorial development of socio-economic systems in a depressed region. *The world of economics and law*, 2011, no. 11, pp. 7–14.
24. Radushinsky D., Mottaeva A., Andreeva L., Dyakova G. The evaluation of the modernization cost of the transport infrastructure of the Northern Sea Route in the Arctic zone of the Russian Federation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2017, vol. 90, pp. 012137.
25. Mottaeva A. Procedure for Determining Integral Index of Motor Transport Enterprises Competitiveness as the Basis of Shaping Regional Programs of Transport Infrastructure Development. *MATEC Web of Conferences*. Saint-Petersburg, 2016, vol. 106, pp. 08072.
26. Akhmetshina L., Sergeev A., Mottaeva A. Influence of organic agriculture on the development of green economy. *E3S Web of Conferences: 2018 Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics*. Moscow, 2018, vol. 91, pp. 06008.

УДК

Н. А. ЛЕБЕДЕВ, д-р экономич. наук (Институт экономики РАН, г. Москва); **С. В. ЗУБКОВА**, канд. экономич. наук. (Финансовый университет при правительстве РФ, г. Москва)

E-mail: zubkovasv@inbox.ru

N. A. Lebedev (Institute of economics Russian academy of sciences, Moscow); **S. V. Zubkova** (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow)

Роль цифровизации промышленных комплексов в укреплении технологического и цифрового суверенитетов России

The role of digitalization of industrial complexes in strengthening Russia's technological and digital sovereignty

Анализируется совокупность вопросов, связанных с проблемой цифрового развития промышленных комплексов России как важного звена цифрового и технологического суверенитетов России. На примере агропромышленного и машиностроительных комплексов в статье показаны эффективные методы принятия решений на основе данных, позволяющие добиться экономической безопасности. Исследование влияния цифровой трансформации промышленных комплексов на обеспечение технологического и цифрового суверенитета РФ позволяет определить ключевые вызовы, стратегические инициативы и практические результаты внедрения цифровых решений в промышленных комплексах. Сделан акцент на важную роль импортозамещения в цифровой сфере, развития отечественных технологий и подготовки кадров в укреплении национальной безопасности и конкурентоспособности.

The article analyzes a set of issues related to the problem of digital development of Russia's industrial complexes as an important link in Russia's digital and technological sovereignty. Using

the example of agro-industrial and machine-building complexes, the article analyzes effective data-based decision-making methods to achieve economic security. The study of the impact of the digital transformation of industrial complexes on ensuring the technological and digital sovereignty of the Russian Federation made it possible to identify key challenges, strategic initiatives and practical results of the introduction of digital solutions in industrial complexes. The article focuses on the important role of import substitution in the digital sphere, the development of domestic technologies and personnel training in strengthening national security and competitiveness.

Ключевые слова: цифровой суверенитет; технологический суверенитет; агропромышленный комплекс; цифровизация промышленности; банки; банковская система; цифровой рубль; инновационное развитие; новые технологии; искусственный интеллект; импортозамещение; цифровые платформы в сельском хозяйстве; маркетплейсы.

Keywords: digital sovereignty; technological sovereignty; agro-industrial complex; digitalization of industry; banks; banking system; digital ruble; innovative development; new technologies; artificial intelligence; import substitution; digital platforms in agriculture; marketplaces.

Настоящая статья подготовлена в рамках научно-исследовательской работы, выполняемой по заказу Правительства Российской Федерации ПИ-18 № 1023032700534-8-5.2.4. «Экосистемность как новый тренд развития рынка финансовых услуг: границы и противоречия».

Экономическая безопасность ключевых отраслей российской экономики, включая машиностроение и агропромышленный комплекс, является важнейшим фактором их долгосрочного устойчивого развития независимо от наличия санкционного давления и геополитической обстановки. Многие страны, в т. ч. те, на которые никогда не распространялись санкции, все больше внимания, уделяют своему технологическому и цифровому суверенитетам. Об этом, например, свидетельствует принятие в ЕС Закона о цифровых рынках (*DMA*), который направлен на снижение до минимума давления со стороны крупных ненациональных технологических компаний на локальных поставщиков и диверсификацию доступа к их платформам [1]. Данный закон последовательно внедряется в Европейском союзе, разрабатываются и вводятся в действие локальные нормативные акты, конкретизируя и детализируя его основные положения. Основной принцип регулирования заключается в том, чтобы собственные услуги платформы не обладали приоритетом по сравнению с услугами ее конкурентов. Таким компаниям должен быть обеспечен равный доступ к пользователям этих платформ. Другой принцип регулирования заключается в возможности оспорить несправедливые условия для бизнеса, включая чрезмерно строгие ограничения сфер деятельности и необоснованно высокие тарифы.

За нарушение сформулированных требований введены санкции в виде штрафа в размере до 20 % от общего годового оборота по всему миру, а также такие структурные меры, как отчуждение определенных частей бизнеса.

Цифровизация промышленных комплексов, независимо от национальной юрисдикции, неразрыв-

но связана с функционированием маркетплейсов и экосистем. Цифровое развитие промышленных комплексов в условиях глобальных геополитических изменений и санкционного давления играет ключевую роль в достижении технологического и цифрового суверенитетов, обеспечивая переход от импортозависимости к созданию замкнутых технологических циклов на основе отечественных решений. Существенную роль в этом процессе играет банковская система [2]. Для раскрытия этих утверждений важно дать определение технологического и цифрового суверенитета. Это разные, но в большой степени связанные между собой понятия. Так, технологический суверенитет – это способность государства самостоятельно разрабатывать, производить и внедрять критические технологии без зависимости от внешних поставщиков. Цифровой суверенитет – это, прежде всего, контроль над цифровой инфраструктурой, данными и программным обеспечением, обеспечивающий безопасность и независимость цифрового пространства страны. А сама цифровизация промышленности и банковской системы является мостом между этими двумя концепциями, создавая основу для их взаимного усиления.

Динамика обеспечения цифровизации промышленных комплексов через внедрение соответствующих платформ для технологического прорыва в большей части научной литературы, относящейся к этой теме, определяет важность раскрытия концептуальной направленности экономических взглядов при осмыслении содержательных черт цифровых технологий, их корней, специфики и текущих тенденций развития, и к которой проявляют интерес отечественные исследователи.

Изучением процессов внедрения цифровых технологий в промышленных комплексах, включая АПК, занимаются, в частности, А. О. Рада, Н. В. Погребная, Е. А. Асташова, С. А. Банников, Л. И. Провоторова и др.

Так, А. О. Рада определяет цифровые технологии как систему взаимодействующих между собой средств производства, которая при условии формирования соответствующих им организационно-экономических отношений позволяет на основе единой цифровой модели повысить эффективность и устойчивость развития отрасли, что дает возможность отразить экономическую роль цифровых технологий, а также позволяет учесть необходимость целенаправленного преобразования производственных отношений при объективном развитии производительных сил [3].

Н. В. Погребная усматривает в цифровой трансформации промышленных комплексов изменения технологий и их интеграцию во все сферы промышленного производства и сельского хозяйства как переход от физических к цифровым процессам. С этой точки зрения, предприятия и фермерские хозяйства в последовательности цифровых ссылок должны занимать ведущую роль, заказывать установку необходимых для них цифровых приложений, заключать устойчивые экономические контракты. Прежде всего авторы статьи исходят из того, что цифровая цепочка должна включать два ведущих предприятия, а кроме промышленных и агропромышленных предприятий в нее должны входить субъекты цифровых технологий (например, консультанты и поставщики цифровых технологий); при этом хозяйствующим субъектам важно поддерживать друг друга. Как видим, Погребная Н. В. представляет цифровые технологии как один из прорывов в поступательном увеличении производства продукции [4].

Оценка, полемика о содержании цифровых технологий в промышленности и АПК как научного понятия позволили Е. А. Асташовой рассмотреть цифровизацию отрасли как автоматизацию функций управления в применении отраслевых решений, предполагая, что одним из преимуществ при этом становится актуализация информации в режиме реального времени, что как минимум дает возможность интегрировать необходимые бизнес-процессы, объединять финансовую и производственную части и тем самым выстраивать единую прозрачную систему управления производством [5].

Не менее интересна и точка зрения С. А. Банниковой, которая трактует цифровую трансформацию агропромышленного комплекса как «процесс внедрения цифровых технологий и инноваций в

сельское хозяйство и смежные с ним отрасли промышленности с целью улучшения эффективности производства, оптимизации управления ресурсами, повышения качества выпускаемой продовольственной продукции, снижения затрат и повышения конкурентоспособности продовольственных товаров на рынке». Предложенное определение демонстрирует, что цифровые технологии, с одной стороны, захватывают агропромышленную практику, а с другой, безусловно касаются проблемы продовольственной безопасности, что выражается в том числе через повышение качества продовольственной продукции и повышение экономической доступности пищевой продукции [6].

Исследованию рисков и перспективы цифровизации промышленности и сельского хозяйства уделила внимание Л. И. Провоторова. Цифровизация АПК, с ее точки зрения, «представляет собой процесс интеграции информационных и коммуникационных технологий в разнообразные аспекты деятельности с целью оптимизации и улучшения ее результативности». С этой точки зрения, цифровизация промышленности открывает перспективы для повышения эффективности производственной деятельности и использования ресурсов, аудита и системы поддержки принятия решений [7]. Невзирая на многообещающие перспективы цифровизации сельского хозяйства, автор акцентирует внимание и на опасностях, которые несет цифровизация, прежде всего, риски, касающиеся проблем развития цифровой инфраструктуры и непосредственно связанной с ней кибербезопасности, совершенствования правового аспекта, как и недостатка финансовых ресурсов для внедрения цифровых проектов в отрасли и пр.

Рассмотрение категориального аппарата сделало возможным увидеть контекстуальный характер экономической мысли для осмысления несущих черт цифровых технологий в промышленности и АПК (в частности, цифровых платформ, обеспечивающих взаимодействие участников экономической цепочки – предприниматель, государство, посредники, поставщики и т. д., технологии проектирования цифровой экосистемы, облачных сервисов, Интернета-вещей, технологии комплексного зондирования и пр.), которым придается особое внимание.

Надо думать, что в среднесрочном периоде применение возможностей подхода к содержанию цифровых технологий в промышленности и АПК, фабулу которого формирует многоаспектный диапазон, найдет свое выражение в его контент-наполнении, к которому проявляют интерес отечественные исследователи.

Рассмотрим текущее состояние цифровизации промышленности в России. Слабыми местами по-прежнему являются критическая зависимость от зарубежного производственного оборудования и ПО, оборудования и компонентов (например, промышленные контроллеры, CAD/CAE-системы), сохранение уязвимости цифровых систем к внешним атакам при использовании иностранных решений, а также нехватка специалистов в области промышленной кибербезопасности, *IoT* и *big data*.

Однако, обращают на себя внимание и определенные достижения в сфере технического и цифрового суверенитета России, такие как внедрение отечественных *PLM*-систем (например, «Лощман»), *CAD*-платформ (Компас-3D), развитие промышленного интернета вещей (*IIoT*) на базе российского оборудования, создание отраслевых цифровых платформ (например, в нефтегазовой отрасли). В области цифровизации для укрепления суверенитета положительно можно отметить внедрение отечественного ПО и оборудования, например, замену иностранных *ERP*- и *MES*-систем на российские аналоги («1С», «Галактика»), разработку собственных промышленных контроллеров и датчиков. Существенным прорывом для развития отечественного цифрового суверенитета явилось развитие цифровых двойников и умных производств, создание цифровых копий реальных производственных процессов для оптимизации и прогнозирования, внедрение *AI* и машинного обучения для управления качеством и логистикой, развитие систем безопасности данных и киберзащиты, в частности использование отечественных средств криптографии и защиты информации, создание изолированных контуров для критической инфраструктуры.

В области подготовки кадров также наблюдаются определенные успехи для развития отечественного суверенитета. Так, появились новые образовательные программы по цифровым технологиям в промышленности, развивается стимулирование работы ИТ-специалистов в реальном секторе экономики.

Приведем отдельные примеры успешной цифровизации в промышленности для укрепления технологического и цифрового суверенитетов России (см. таблицу) [8–11].

Цифровизация промышленности является не просто инструментом повышения эффективности, но и ключевым условием обеспечения технологического и цифрового суверенитета России. Для достижения успеха необходимо:

- ускорить импортозамещение в области критического ПО и оборудования;
- инвестировать в R&D и разработку собственных стандартов;

- готовить кадры для цифровой промышленности;
- обеспечить кибербезопасность на всех уровнях.

Таблица

Примеры успешной цифровизации в промышленности для укрепления технологического и цифрового суверенитетов России

Субъекты	Примеры цифровизации промышленных комплексов в укреплении технологического и цифрового суверенитетов России
Росатом	Внедрение сквозной цифровой платформы от проектирования до эксплуатации АЭС.
Ростех	Разработка единой системы управления жизненным циклом продукции на базе отечественного ПО
Норникель	Использование цифровых двойников для оптимизации металлургических процессов
Меры поддержки со стороны государства	Нацпроекты: «Цифровая экономика», «Производительность труда».
	Субсидии и гранты для промышленных предприятий, внедряющих отечественные ИТ-решения
	Создание регуляторной песочницы для тестирования новых технологий

Только комплексный подход позволит России создать конкурентоспособную, безопасную и суверенную промышленную экосистему. Комплексный подход включает огромную роль и влияние банковской системы на цифровую трансформацию промышленности России в контексте технологического и цифрового суверенитета промышленности. Банковская система выступает ключевым элементом экосистемы развития человеческого капитала, обеспечивая страну специалистами, способными реализовать цели технологического и цифрового суверенитета. Банковская система не просто финансирует цифровую трансформацию, а активно формирует технологическую экосистему, способствующую укреплению цифрового и технологического суверенитета России. Ее роль в импортозамещении, развитии технологий и подготовке кадров критически важна для безопасности и конкурентоспособности страны, многогранна и реализуется через несколько механизмов.

1. *Банки предоставляют целевые кредиты и инвестиции на внедрение цифровых решений.* Например, ПАО Сбербанк активно инвестирует в цифровую трансформацию предприятий металлургической отрасли. Компания «Е-Металл» резидент «Сколково» планирует создание ИИ-сервиса для цифровизации и внедрения искусственного интеллекта в отрасли [12]. В июне 2025 г. сообщается, что Сбербанк, «СберМобайл» и челябинский «Завод роботов» начинают сотрудничество в области цифровизации отечественных предприятий промышленности. Пар-

тнеры планируют разработать и вывести на рынок программно-аппаратный комплекс для управления промышленными роботами на базе платформы искусственного интеллекта вещей *SberMobile AIoT (Artificial Intelligence of Things)* [13]. Банк ВТБ (ПАО) обеспечивает финансирование проекта «Росатома» по созданию цифровой платформы для АЭС (объем инвестиций около 200 млрд руб.) [14]. Банковское кредитование позволяет компаниям закупать отечественное ПО и оборудование, снижая зависимость от импорта, повышая технологический суверенитет в промышленности. Банковская система в целом и крупнейшие банки в частности выступают основным источником инвестиций в проекты по импортозамещению и разработке отечественных технологий, осуществляя целевое кредитование, выдавая льготные кредиты по программам МСП (малого и среднего предпринимательства) для компаний, внедряющих отечественные технологии. Банки выдают банковские гарантии для участия отечественных компаний в государственных закупках и реализации крупных проектов, что снижает риски и способствует заключению контрактов с российскими производителями.

2. *Банки стимулируют развитие отечественных технологий, внедряют инновации, разрабатывают и внедряют собственные финтех-решения для промышленности, стимулируя таким образом создание ИТ-продуктов и платформ* – цифровые сервисы, которые используются промышленными предприятиями, например, ПАО Сбербанк разрабатывает и внедряет платформу «*SberSupply Chain*» для управления цепочками поставок, которая интегрирована с бухгалтерской системой 1С и позволяет оптимизировать логистику. Он создает собственную экосистему, включая ОС «Альфа» (для бизнеса), облачные сервисы (*SberCloud*) и решения на основе AI. Эти технологии используются тысячами российских компаний, снижая зависимость от зарубежных аналогов. Банк ВТБ (ПАО) создает специальный сервис «ВТБ Факторинг онлайн» для ускорения расчетов между предприятиями. ВТБ Факторинг поставляет инновационные решения на рынок, такие как агентский факторинг, цифровой факторинг и цифровые финансовые активы и др. [15]. Разработки банков создают замкнутую экосистему на основе российских технологий и защиту данных от внешних угроз, способствуя укреплению отечественного технологического и цифрового суверенитета.

3. *Банки осуществляют поддержку стартапов.* Например, Промсвязьбанк в 2025 г. подписывает соглашение о партнерстве с СПбГУ, направленное на развитие и масштабирование технологии цифровых двойников для предприятий ОПК и гражданских

высокотехнологичных отраслей [16]. Планируется создание экосистемы технологического развития, которая будет способствовать вхождению России в топ-10 стран по объему НИОКР, ускоренному внедрению технологических инноваций и др. Инвестиционное банковское кредитование промышленных комплексов позволяет сформировать инновационный контур, независимый от западных технологий. С этой целью банки также проводят целевое кредитование по предоставлению льготных кредитов по программам МСП (малого и среднего предпринимательства) для компаний, внедряющих отечественные технологии.

4. *Банки выступают операторами государственных программ финансирования.* Крупные банки (ПАО Сбербанк, Банк ВТБ (ПАО) и др.) участвуют в финансировании национальных проектов, таких как «Цифровая экономика» и «Международная кооперация и экспорт». Например, в рамках федерального проекта «Цифровые технологии» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» уполномоченные банки получают льготные кредиты на реализацию проектов по цифровой трансформации, а также активно развивают частные инициативы [17]. Это способствует синхронизации усилий государства и бизнеса для ускорения технологической независимости, создает равноправное партнерство с государством для реализации национальных проектов.

5. *Банки разрабатывают системы защиты и кибербезопасности для промышленности.* Это предотвращает утечки и потери данных и ограничивает возможности кибератак на критическую инфраструктуру.

6. *Банковская система и банки проводят разработки и внедрение цифровых сервисов для бизнеса и цифрового рубля для расчетов между предприятиями.* Развитие систем удаленного банковского обслуживания (РКО), онлайн-бухгалтерии и цифровых торговых площадок на базе отечественного ПО позволяет предприятиям эффективнее работать и конкурировать на рынке, а также достигается снижение зависимости от *SWIFT* и доллара, укрепляется цифровой и финансовый суверенитет страны.

7. *Банковская система принимает активное участие в подготовке кадров и развитии человеческого капитала.* Успех импортозамещения и технологического развития невозможен без квалифицированных специалистов. Банки активно участвуют в образовательных процессах. С этой целью они участвуют в создании образовательных программ, учреждают стипендии и гранты, устанавливают партнерство с университетами. Так, ПАО Сбербанк в 2025 г. планирует инвестировать 1 млрд руб. для развития новых

образовательных программ. по грантовому конкурсу Минцифры и Аналитического центра при Правительстве РФ. Эти средства позволят шести ведущим вузам – МИФИ, МФТИ, ВШЭ, ИТМО, Университету Иннополис и УрФУ – запустить 14 программ для подготовки ИТ- и ИИ-специалистов [18], банк совместно с ведущими вузами (ВШЭ, МГУ, МФТИ) реализует программы переподготовки по направлениям AI, data science, кибербезопасность. Ежегодно обучение проходят десятки тысяч человек.

Банки открывают базовые кафедры в вузах, где студенты работают над реальными проектами. В настоящее время можно говорить об ускорении цифровизации, развитии импортозамещения, развитии человеческого капитала, владеющего современными цифровыми технологиями. Глава Российского Правительства Михаил Мишустин в своем выступлении на пленарной сессии «Технологическая независимость промышленной России» на ЦИПР-2024 обращает внимание, что инвестиции в цифровые технологии в период с 2020 по 2024 гг. увеличиваются более, чем на 80 % (4 трлн руб.), а объем средств, направленных на развитие цифровой и информационной инфраструктуры – на 30 % (1,5 трлн руб.) [19].

Количество российских САПР- и PLM-систем в 2021 г. исчисляется 1323 единицами, а к 2025 г. должно вырасти до 2082, к 2030 г. – до 3669. В целом доля использования российского промышленного ПО должна увеличиться с 41 до 58 % к 2025 г. и достичь 90 % к 2030 г. [20].

Вывод. Перспективными направлениями дальнейшего направления участия банков в процессе цифровизации промышленных комплексов в укреплении технологического и цифрового суверенитетов России должны стать развитие «зеленых» цифровых технологий (поддержка ESG-трансформации), создание современных отраслевых цифровых платформ (например, для авиа- и судостроения), расширение использования цифрового рубля в промышленности развитие образовательной инфраструктуры, создание федеральной сети IT-кадровых центров при поддержке банков, использование государственно-частное партнерство путем совместного финансирования программ подготовки кадров для ВПК и гражданских отраслей, развитие цифровых сервисов для удаленных регионов, расширение онлайн-обучения специалистов в Сибири и на Дальнем Востоке.

Список литературы

1. *The Digital Markets Act*. URL: www.digital-markets-act.ec.europa.eu/index_en.

2. *Морозова О. А.* Проблема доминирования цифровых платформ // *Сберегательное дело за рубежом*. 2024. № 1. С. 12–19.

3. *Рада А. О.* Организационно-экономический механизм внедрения цифровых технологий на предприятиях сельского хозяйства (на материалах Кемеровской области - Кузбасса): дисс. ... канд. эконом. наук. Новосибирск: 2020.

4. *Погребная Н. В.* и др. Цифровая трансформация в сельском хозяйстве: проблемы и перспективы // *Вестник Алтайской академии экономики и права*. 2022. № 9 (ч. 1). С. 118–123.

5. *Асташова Е. А.* и др. Модель цифровой трансформации предприятий АПК // *Вопросы инновационной экономики*. 2022. Т. 12. № 4. С. 2341–2356.

6. *Банников С. А.* и др. Сущность и этапы цифровой трансформации в АПК // *Вестник НГИЭИ*. 2023. № 11 (150). С. 65–76.

7. *Провоторова Л. И.* Цифровизация сельского хозяйства: перспективы и риски // *Cifra. Экономика*. 2023. № 2 (2). С. 1–4.

8. *Аналитический отчет ВШЭ «Индикаторы цифровой экономики: 2023»* // ВШЭ. URL: https://issek.hse.ru/digital_economy_indicator_2023.

9. *Исследование Сбербанка «Тренды цифровизации промышленности в России»* // Сбербанк. 2023. URL: <https://www.sberbank.com/ru/analytics/industry-digitalization>.

10. *Отчет Ассоциации банков России о кредитовании реального сектора* // Ассоциация банков России. 2023. URL: https://asros.ru/analytics/credit_report_2023.

11. *Рейтинг цифровой зрелости промышленности от Минпромторга России* // Минпромторг. 2022. URL: https://minpromtorg.gov.ru/ministry/strategies/digital_maturity_rating.

12. *Резидент Сколково и Сбербанк планируют создать ИИ-сервис для повышения эффективности металлургического рынка* // Сколково. URL: <https://sk.ru/news/rezident-skolkovo-i-sberbank-i-planiruyut-sozdat-ii-servis-dlya-povysheniya-effektivnosti-metallurgicheskogo-rynka/>.

13. *Сбербанк, «СберМобайл» и «Завод роботов» объединят усилия, чтобы ускорить цифровизацию промышленности* // C news. URL: https://www.cnews.ru/news/line/2025-06-19_sberbanksbermobajl_i.

14. *ВТБ инвестирует более 200 млрд рублей в новую арктическую атомную генерацию России* // Атомная Энергия. URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2024/12/05/151694>.

15. *ВТБ-факторинг*. URL: <https://www.vtbf.ru/news/vtb-factoring-otmechaet-15-letie/>.

16. *ПСБ и СПБПУ подписали соглашение о цифровых двойниках* // РБК. URL: <https://www.rbc.ru/industries/news/68551e5f9a79472619adac86>.

17. *Льготное кредитование предприятий* // Минцифры. URL: <https://digital.gov.ru/activity/mery-podderzhki-it-otrasli/lgotnoe-kreditovanie-kompanij>.

17. *Доклад Банка России «О развитии цифровых технологий в финансовой сфере»* // ЦБР. 2023. URL: https://cbr.ru/Content/Document/File/156269/doklad_o_razvitiit-sifrovikh_tekhnologiy_2023.pdf.

18. Сбер вложит 1 млрд рублей в подготовку ИТ- и ИИ-специалистов // Компьютерра. URL: <https://www.computerra.ru/320580/sber-vlozhit-1-mlrd-rublej-v-podgotovku-it-i-ii-spetsialistov/>.

19. Михаил Мишустин: инвестиции в цифровые технологии за 4 года достигли свыше 4 трлн рублей // Новости ИТ-канала. URL: <https://www.novostiitkanala.ru/news/detail.php?ID=177090>

20. Обзор российского рынка инженерного ПО и перспективы его развития // Strategy partners. 2024. URL: https://strategy.ru/media/uploads/2024/10/Обзор_рынка_инженерного_PO_Strategy_Partners.pdf.

References

1. *The Digital Markets Act*, available at: www.digital-markets-act.ec.europa.eu/index_en.
2. Morozova O. A. The Problem of Digital Platform Dominance. *Savings Business Abroad*, 2024, no. 1, pp. 12–19.
3. Rada A. O. *Organizacionno-jekonomicheskij mehanizm vnedrenija cifrovih tehnologij na predpriyatijah sel'skogo hozjajstva (na materialah Kemerovskoj oblasti - Kuzbassa)* [Organizational and Economic Mechanism for the Implementation of Digital Technologies in Agricultural Enterprises (based on the Kemerovo Region – Kuzbass): candidate's thesis]. Novosibirsk, 2020.
4. Pogrebnaya N. V. et al. Digital Transformation in Agriculture: Problems and Prospects. *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*, 2022, no. 9 (Part 1), pp. 118–123.
5. Astashova E. A. et al. A Model of Digital Transformation of Agricultural Enterprises. *Issues of Innovative Economics*, 2022, vol. 12, no. 4, pp. 2341–2356.
6. Bannikov S. A. et al. The nature and stages of digital transformation in the agro-industrial complex. *NGIEI Bulletin*, 2023, no. 11 (150), pp. 65–76.
7. Provotorova L. I. Digitalization of agriculture: prospects and risks. *Cifra. Economics*, 2023, no. 2 (2), pp. 1–4.
8. HSE Analytical Report «Digital Economy Indicators: 2023». *HSE*, available at: https://issek.hse.ru/digital_economy_indicator_2023.
9. Sberbank Study «Trends in Industrial Digitalization in Russia». *Sberbank*. 2023. URL: <https://www.sberbank.com/ru/analytics/industry-digitalization>.
10. Report of the Association of Russian Banks on Lending to the Real Sector. *Association of Russian Banks*, 2023, available at: https://asros.ru/analytics/credit_report_2023.
11. Digital Maturity Rating of Industry from the Ministry of Industry and Trade of Russia. *Ministry of Industry and Trade*, 2022, available at: https://minpromtorg.gov.ru/ministry/strategies/digital_maturity_rating.
12. Skolkovo Resident and Sberbank Plan to Create an AI Service to Improve the Efficiency of the Metallurgical Market. *Skolkovo*, available at: <https://sk.ru/news/rezident-skolkovo-i-sberbank-i-planiruyut-sozdat-ii-servis-dlya-povysheniya-effektivnosti-metallurgicheskogo-rynka/>.
13. Sberbank, SberMobile, and Robot Factory will join forces to accelerate the digitalization of industry. *C news*, available at: https://www.cnews.ru/news/line/2025-06-19_sberbanksbermobajl_i.
14. VTB to invest over 200 billion rubles in new Arctic nuclear power generation in Russia. *Atomic Energy*, available at: <https://www.atomic-energy.ru/news/2024/12/05/151694>.
15. *VTB Factoring*, available at: <https://www.vtb.ru/news/vtb-factoring-otmechaet-15-letie/>.
16. PSB and SPbPU signed an agreement on digital twins. *RBC*, available at: <https://www.rbc.ru/industries/news/68551e5f9a79472619adac86>.
17. Preferential lending to enterprises. *Ministry of Digital Development*, available at: <https://digital.gov.ru/activity/mery-podderzhki-it-otrasli/lgotnoe-kreditovanie-kompanij>.
17. Bank of Russia report «On the development of digital technologies in the financial sector». *CBR*, 2023, available at: https://cbr.ru/Content/Document/File/156269/doklad_o_razviti_tsfrovikh_tekhnologiy_2023.pdf.
18. Sber to invest 1 billion rubles in training IT and AI specialists. *Computerra*, available at: <https://www.computerra.ru/320580/sber-vlozhit-1-mlrd-rublej-v-podgotovku-it-i-ii-spetsialistov/>.
19. Mikhail Mishustin: Investments in digital technologies have reached over 4 trillion rubles in 4 years. *IT Channel News*, available at: <https://www.novostiitkanala.ru/news/detail.php?ID=177090>
20. Review of the Russian engineering software market and its development prospects. *Strategy partners*, 2024, available at: https://strategy.ru/media/uploads/2024/10/Engineering_software_market_review_Strategy_Partners.pdf.

УДК 7.01:005.32:004

Н. А. ЗАВЬЯЛОВА, д-р культурологии, канд. филологич. наук (Уральский государственный педагогический университет, г. Екатеринбург)

E-mail: n.zavzav@yandex.ru

N. A. Zavyalova (Ural State Pedagogical University, Yekaterinburg)

Влияние глобальных тенденций художественной культуры на формирование корпоративной идентичности в условиях цифровизации промышленного сектора

The influence of global artistic culture trends on the formation of corporate identity in the context of industrial sector digitalization

В условиях четвертой промышленной революции и повсеместной цифровизации промышленные предприятия сталкиваются с вызовами, где конкуренция смещается от технических характеристик к символическим ценностям и репутации бренда. Проведена оценка влияния глобальных художественных трендов на корпоративную идентичность промышленных компаний, выявлены корреляции с уровнем цифровизации и метриками вовлеченности аудитории. Обсуждение результатов подтверждает, что интеграция художественных трендов усиливает эффективность коммуникаций, переводя эстетику в бизнес-метрики и минимизируя разрывы между технологиями и культурой. Синтез данных указывает на мультипликативный эффект: цифровизация стимулирует эстетическую грамотность, повышая лояльность аудитории. Выводы подчеркивают необходимость стратегического синтеза искусства и технологий для устойчивой конкурентоспособности; консерватизм приводит к потере позиций, в то время как инновационный брендинг создает эмоциональную связь и культурное поле вокруг компании.

In the era of the Fourth Industrial Revolution and widespread digitalization, industrial enterprises face challenges where competition shifts from technical specifications to symbolic values and brand reputation. The aim of the work is to assess the influence of global artistic trends on the corporate identity of industrial companies, and to identify correlations with the level of digitalization and audience engagement metrics. The discussion of results confirms that the integration of artistic trends enhances communication effectiveness, translating aesthetics into business metrics and minimizing gaps between technology and culture. Data synthesis indicates a multiplicative effect: digitalization stimulates aesthetic literacy, boosting audience loyalty. The conclusions emphasize the need for a strategic synthesis of art and technology for sustainable competitiveness; conservatism leads to the loss of positions, while innovative branding creates emotional connection and a cultural field around the company.

Ключевые слова: корпоративная идентичность; художественная культура; цифровизация; промышленный сектор; визуальные тренды.

Keywords: corporate identity; artistic culture; digitalization; industrial sector; visual trends.

В условиях четвертой промышленной революции, характеризующейся повсеместным внедрением цифровых технологий, промышленные предприятия сталкиваются с беспрецедентными вызовами, выходящими далеко за рамки производственных процессов. Глобализация рынков и информационная прозрачность приводят к тому, что конкуренция смещается из плоскости чисто технических характеристик продукта в сферу символических ценностей, репутации и бренда. В этом контексте корпоративная идентичность перестает быть статичным набором

атрибутов, таких как логотип и фирменные цвета, и трансформируется в динамичную, многоуровневую систему коммуникации, отражающую миссию, ценности и культуру компании. Именно здесь возникает точка пересечения, казалось бы, далеких друг от друга миров – тяжелой промышленности и глобальной художественной культуры [1]. Современное искусство, дизайн и визуальные коммуникации формируют глобальный эстетический язык, который подсознательно считывается аудиторией, будь то инвесторы, партнеры или конечные потре-

бители. Игнорирование этих тенденций равносильно попытке говорить на устаревшем диалекте в эпоху универсального цифрового языка.

Проблема заключается в значительном разрыве между скоростью развития глобальных культурных трендов и консервативным характером промышленного сектора. Традиционно промышленные компании делали акцент на рациональных аргументах: надежность, производительность, инновационность в технологиях. Однако цифровизация переносит основную площадку взаимодействия с аудиторией в виртуальное пространство – на корпоративные сайты, в социальные сети, на цифровые платформы. Эти площадки по своей природе визуальны и подчиняются законам не только инженерии, но и эстетики [2]. Способность компании адекватно и современно представить себя в цифровой среде, используя актуальные художественные приемы, напрямую влияет на ее восприятие как передового, динамично развивающегося и культурно релевантного игрока. Таким образом, исследование влияния глобальных художественных тенденций на формирование корпоративной идентичности промышленных гигантов является не просто академическим интересом, а насущной практической задачей, от решения которой зависит их конкурентоспособность в новом цифровом мире.

Материалы и методы исследования

В основе данного исследования лежит междисциплинарный подход, объединяющий методологические аппараты культурологии, социологии коммуникаций, маркетинга и статистического анализа данных. Эмпирической базой служит комплексный анализ деятельности 150 крупных промышленных предприятий из секторов металлургии, машиностроения и химической промышленности, активно использующих цифровые каналы для коммуникации. Основным методом сбора первичных данных выступает контент-анализ официальных корпоративных сайтов, страниц в социальных сетях (*LinkedIn*, *Facebook*) и годовых отчетов компаний за период с 2018 по 2023 гг. В ходе анализа фиксируется наличие и частота использования элементов, характерных для различных глобальных художественных трендов, таких как минимализм, абстракционизм, глитч-арт, брутализм в веб-дизайне, использование генеративного искусства и кинетической типографики. Для формализации данных разработана специальная кодировочная сетка, позволившая перевести качественные визуальные характеристики в количественные показатели [3]. Параллельно проведен анкетный опрос среди 120 руководителей отделов маркетинга и PR данных предприятий для выявления их субъек-

тивного восприятия роли художественной культуры в формировании бренда и существующих барьеров для ее интеграции.

Для обработки и анализа полученных количественных данных используется пакет статистического программного обеспечения *SPSS 26.0*. Ключевым этапом становится разработка и расчет «Индекса художественной интеграции» (ИХИ), представляющего собой взвешенную среднюю оценку использования современных художественных приемов в цифровых коммуникациях каждой компании. Для проверки гипотез о взаимосвязи между степенью интеграции художественных трендов, уровнем цифровизации компании и показателями вовлеченности аудитории применялся корреляционный анализ по Пирсону и регрессионный анализ [4]. Кроме того, используется метод кластерного анализа (метод *k*-средних) для сегментации исследуемых компаний на группы со схожими стратегиями формирования визуальной идентичности. Данный метод позволяет выявить типичные модели поведения промышленных предприятий в исследуемой области и охарактеризовать их сильные и слабые стороны [5]. Комплексное применение качественных и количественных методов обеспечивает глубину и достоверность полученных результатов, позволяя не только зафиксировать текущее состояние, но и выявить глубинные причинно-следственные связи.

Результаты и обсуждение

Первичный анализ цифровых активов промышленных компаний выявляет значительную неоднородность в подходах к формированию визуальной корпоративной идентичности. Несмотря на общую тенденцию к цифровизации, многие предприятия продолжают использовать устаревшие визуальные коды, ассоциирующиеся с эпохой доинтернетовской эры. Их цифровое присутствие носит сугубо утилитарный характер, представляя собой онлайн-версию бумажного буклета, лишенную эмоциональной и эстетической составляющей. Такое положение дел создает когнитивный диссонанс: компания может заявлять о своей технологической продвинутости и инновационности, однако ее визуальный язык говорит об обратном, сигнализируя о консерватизме и негибкости. Эта проблема особенно остро стоит в B2B секторе, где долгое время считалось, что решения принимаются исключительно на рациональной основе, и эстетика не имеет значения [6].

В то же время, намечается и противоположная тенденция. Передовые компании, осознавшие важность целостного восприятия бренда в цифровой среде, активно экспериментируют с современными

художественными приемами. Они привлекают ведущие дизайн-агентства, интегрируют в свою айдентику элементы современного искусства и стремятся создать уникальный пользовательский опыт на своих цифровых платформах. Целью данного этапа анализа было количественно оценить, какие именно художественные тренды находят наибольший отклик в промышленном секторе и насколько глубока их интеграция в различные каналы коммуникации. Результаты этого среза представлены в сводной таблице, отражающей процентное соотношение использования различных стилей в оформлении сайтов и социальных сетей (см. табл. 1).

Анализ данных, представленных в табл. 1, демонстрирует явное доминирование минимализма и функционализма как ключевого художественного направления в цифровой айдентике промышленных компаний, со средним показателем интеграции в 62,1 %. Это наблюдение является вполне закономерным, поскольку эстетика минимализма, с ее акцентом на чистоту линий, функциональность и ясность, органично коррелирует с ценностями промышленного производства – точностью, эффективностью и надежностью. Высокий процент использования фотореализма и 3D-графики (49,85 %) также объясним стремлением наглядно и детализировано продемонстрировать сложное оборудование или технологические процессы. Эти два тренда можно охарактеризовать как «безопасные», поскольку они не вступают в противоречие с традиционным имиджем сектора.

В то же время, более смелые и концептуально сложные направления, такие как цифровое искусство

(8,65 %) и веб-брутализм (2,3 %), находятся на периферии внимания. Низкие показатели их интеграции свидетельствуют о высоком уровне консерватизма и неготовности большинства предприятий к визуальным экспериментам, которые могут быть восприняты целевой аудиторией как неоднозначные [7]. Интересно отметить, что социальные сети выступают в роли более экспериментальной площадки по сравнению с официальными сайтами: для абстрактной графики, кинетической типографики и цифрового искусства показатели использования в соцсетях выше на 6,4; 7,6 и 4,5 п. п., соответственно. Это говорит о том, что компании осознают разницу в коммуникационных задачах и допускают большую творческую свободу в каналах с более неформальным взаимодействием.

Следующим шагом исследования становится проверка гипотезы о наличии связи между общим уровнем цифровой зрелости предприятия и его готовностью к интеграции художественных элементов в брендинг. Для этого все компании разделены на три группы по уровню цифровизации, который оценивался на основе комплекса параметров (наличие ERP-системы, использование IoT, степень автоматизации и т. д.). Затем для каждой группы рассчитан средний «Индекс художественной интеграции» (ИХИ), агрегирующий данные из табл. 1. Результаты корреляционного анализа представлены в табл. 2.

Данные табл. 2 недвусмысленно подтверждают выдвинутую гипотезу. Наблюдается сильная положительная корреляция ($r \approx 0.89$) между уровнем цифровизации компании и ее ИХИ. Предприятия с низким уровнем цифровизации демонстрируют ми-

Таблица 1

Степень интеграции глобальных художественных трендов в цифровую корпоративную идентичность промышленных предприятий (в % от общего числа проанализированных кейсов)

Художественный тренд	Сайт компании, %	Социальные сети, %	Средний показатель интеграции, %
Минимализм и функционализм	72,8	51,4	62,1
Абстрактная графика и паттерны	25,3	31,7	28,5
Кинетическая типографика	14,9	22,5	18,7
Эко-дизайн (натуральные текстуры)	18,2	11,8	15
Цифровое искусство (<i>Generative Art</i> , <i>Glitch Art</i>)	6,4	10,9	8,65
Фотореализм и 3D-графика	41,5	58,2	49,85
Веб-брутализм	3,1	1,5	2,3

Таблица 2

Корреляционный анализ между уровнем цифровизации предприятия и индексом использования художественных элементов в брендинге

Уровень цифровизации предприятия	Индекс художественной интеграции (среднее значение, от 0 до 1)	Стандартное отклонение
Низкий	0,217	0,124
Средний	0,458	0,098
Высокий	0,783	0,071

нимальный средний индекс, равный 0,217, что говорит о фрагментарном и бессистемном использовании современных визуальных приемов. По мере роста цифровой зрелости компании средний ИХИ увеличивается более чем вдвое для группы со средним уровнем (0,458) и почти в 3,6 раза для группы с высоким уровнем цифровизации (0,783). Этот скачок свидетельствует о том, что цифровая трансформация – это не только технологический, но и культурный сдвиг.

Особого внимания заслуживает динамика стандартного отклонения. В группе с низким уровнем цифровизации оно максимальное (0,124), что указывает на большой разброс в подходах и отсутствие единой стратегии. В группе же с высоким уровнем цифровизации стандартное отклонение минимально (0,071), что говорит о более гомогенном и осознанном подходе к формированию визуальной идентичности. Таким образом, можно заключить, что компании, глубоко погруженные в цифровую среду, не просто чаще используют художественные тренды, но делают это более последовательно и стратегически выверенно, воспринимая визуальный брендинг как неотъемлемую часть своей цифровой экосистемы [8]. Это подтверждает идею о том, что эстетическая и технологическая грамотность развиваются параллельно.

Ключевым вопросом для любого бизнеса является практическая отдача от инвестиций, в т. ч. в дизайн и брендинг. Чтобы оценить, влияет ли художественно осмысленная корпоративная идентичность на реальные бизнес-метрики, проведено сравнительное исследование показателей вовлеченности аудитории для двух контрастных групп компаний: с высоким ИХИ (верхний квартиль выборки) и низким ИХИ (нижний квартиль). Анализировались такие показатели, как среднее время, проведенное пользователем на сайте, показатель отказов (*bounce rate*) и уровень вовлеченности (*Engagement Rate*) в социальных сетях (см. табл. 3).

Результаты, представленные в табл. 3, демонстрируют статистически значимое и практически весомое влияние высокого уровня художественной интеграции на поведение пользователей. Компании с продуманной и современной визуальной идентичностью (высокий ИХИ) удерживают внимание посетителей на своих сайтах в среднем на 75,5 с дольше, что со-

ставляет прирост в 67,1 % по сравнению с группой с низким ИХИ. Это свидетельствует о том, что качественный дизайн и визуальная эстетика создают более комфортную и интересную среду для пользователя, мотивируя его к более глубокому изучению контента.

Еще более показательной является разница в показателе отказов. У группы с высоким ИХИ он на 21,5 п. п. ниже (38,3 против 59,8 %), что означает, что значительно меньшее число посетителей покидает сайт после просмотра первой же страницы. Это напрямую указывает на то, что первое визуальное впечатление играет колоссальную роль в захвате внимания и формировании доверия. Наиболее драматическая разница наблюдается в показателях вовлеченности в социальных сетях: *ER* у компаний с высоким ИХИ более чем в 2,5 раза выше (2,54 против 0,98 %). Это объясняется тем, что эстетически привлекательный и концептуальный контент [9] гораздо более вирулентен, он активнее провоцирует лайки, комментарии и репосты, создавая органический охват и укрепляя эмоциональную связь с брендом.

Для более глубокого понимания существующих стратегий применяется кластерный анализ, который позволяет выделить три устойчивых типа компаний на основе их подхода к формированию цифровой корпоративной идентичности. Кластеризация проводилась на основе комплекса переменных, включая ИХИ, разнообразие используемых трендов и данные из опроса руководителей. Результаты анализа представлены в табл. 4.

Кластерный анализ выявляет, что почти половина исследованных промышленных предприятий (48,7 %) относится к типу «Традиционалистов». Эта многочисленная группа характеризуется инертностью мышления в вопросах брендинга и коммуникаций. Их цифровое присутствие функционально, но лишено эстетической ценности и эмоционального заряда, что негативно сказывается на вовлеченности аудитории. Их подход можно описать как реактивный – они создают цифровые каналы потому, что «так надо», а не потому, что видят в них стратегический ресурс для построения бренда [10]. Данная группа представляет собой основной массив сектора, который пока не адаптировался к новым культурным и коммуникационным реалиям.

Таблица 3

Влияние интеграции художественных трендов на ключевые показатели вовлеченности аудитории в цифровых каналах

Группа компаний	Среднее время на сайте, с	Показатель отказов, %	Вовлеченность в соц. сетях <i>ER</i> , %
С низким ИХИ	112,4	59,8	0,98
С высоким ИХИ	187,9	38,3	2,54
Разница, абс./%	+75,5/+67,1 %	–21,5/–36 %	+1,56/+159,2 %

Таблица 4

Результаты кластерного анализа промышленных компаний по стратегии формирования корпоративной идентичности

Кластер	Характеристика	Доля в выборке, %
«Традиционалисты»	Низкий ИХИ, использование устаревших визуальных кодов, восприятие дизайна как затрат, а не инвестиций. Фокус на утилитарности.	48,7
«Прагматичные модернисты»	Средний ИХИ, использование «безопасных» трендов (минимализм, 3D), осознание важности дизайна, но боязнь смелых экспериментов.	33,2
«Цифровые авангардисты»	Высокий ИХИ, активное использование сложных и смелых трендов (кинетика, генеративное искусство), восприятие айдентики как части инновационного продукта.	18,1

Второй по численности кластер, «Прагматичные модернисты» (33,2 %), представляет собой переходную модель. Эти компании уже осознали, что визуальная составляющая важна, и инвестируют в современный дизайн. Однако их стратегия отличается осторожностью. Они выбирают проверенные и общепринятые тренды, такие как минимализм, что позволяет им выглядеть современно, не рискуя быть непонятыми. Это рациональный и взвешенный подход, но он лишает их возможности выделиться и создать по-настоящему уникальную и запоминающуюся идентичность. Самый малочисленный, но наиболее интересный кластер – «Цифровые авангардисты» (18,1 %). Эти компании не боятся экспериментировать [11] и рассматривают свою цифровую айдентичность как продолжение своей инновационной деятельности. Они используют передовые художественные и технологические решения, формируя образ не просто производителя, а визионера и технологического лидера.

Синтез данных из всех таблиц позволяет выстроить целостную картину исследуемого процесса. Количественный анализ однозначно доказывает существование каскадной зависимости: уровень общей цифровизации компании (см. табл. 2) напрямую и положительно коррелирует со степенью интеграции современных художественных практик в ее корпоративную идентичность. В свою очередь, эта интеграция является не просто декоративным элементом, а функциональным инструментом, который оказывает измеримое положительное влияние на ключевые метрики взаимодействия с аудиторией, такие как время на сайте, показатель отказов и вовлеченность в социальных сетях (см. табл. 3). Таким образом, инвестиции в культурно релевантный и эстетически выверенный брендинг в цифровой среде окупаются повышением эффективности коммуникаций.

Математическая обработка данных показывает, что переход от стратегии «Традиционалистов» к стратегии «Прагматичных модернистов» дает наиболее заметный скачок в показателях вовлеченности. Например, уже сам отказ от устаревшего дизайна в пользу чистого минимализма способен снизить по-

казатель отказов на 15–20 %. Однако максимальных значений метрик достигают «Цифровые авангардисты» (см. табл. 4), что говорит о том, что рынок, даже в консервативном B2B сегменте, положительно реагирует на смелость и инновационность не только в продукте, но и в его подаче [12]. Следовательно, опасения «Прагматичных модернистов» относительно рискованности экспериментов являются по большей части необоснованными; напротив, именно уникальный и запоминающийся визуальный язык становится ключевым дифференцирующим фактором в условиях высокой конкуренции.

Кластерный анализ выступает в качестве удобной типологии, объясняющей разброс данных, наблюдаемый в табл. 1. «Традиционалисты» формируют низкие показатели по всем трендам, кроме, возможно, устаревших форм фотореализма. «Прагматичные модернисты» обеспечивают высокие значения для минимализма и 3D-графики, но игнорируют остальные направления. «Цифровые авангардисты», в свою очередь, вносят основной вклад в статистику по таким нишевым, но перспективным трендам, как генеративное искусство, кинетическая типографика и веб-брутализм [13]. Эта сегментация доказывает, что усредненные показатели по сектору скрывают за собой наличие принципиально разных, порой полярных стратегий формирования корпоративной идентичности.

В целом, проведенный комплексный анализ позволяет утверждать, что в эпоху цифровизации промышленного сектора граница между технологическим продуктом и его культурной репрезентацией стирается. Успешная корпоративная идентичность сегодня – это синтез инженерной мысли и художественного видения [14]. Компании, которые первыми осознают эту новую реальность и научатся говорить на универсальном языке глобальной визуальной культуры, получат неоспоримое конкурентное преимущество, формируя не просто лояльность клиентов, а создавая вокруг своего бренда настоящее культурное поле [15]. Математические модели, построенные на основе полученных данных, прогнозируют, что разрыв в показателях эффективности между кластерами будет

только нарастать по мере дальнейшего погружения мира в цифровую среду.

Выводы. 1. Проведенное исследование убедительно доказывает наличие прямого и существенного влияния глобальных тенденций художественной культуры на формирование корпоративной идентичности в условиях цифровизации промышленного сектора.

2. Установлено, что степень интеграции современных художественных практик в цифровые коммуникации компании находится в сильной положительной корреляции с ее уровнем технологической зрелости. Предприятия, активно внедряющие цифровые технологии в производственные и управленческие процессы, значительно чаще и системнее используют актуальные визуальные языки для построения своего бренда. Это опровергает тезис о том, что промышленность и искусство являются взаимоисключающими сферами; напротив, в цифровой экономике они становятся взаимодополняющими элементами успешной бизнес-стратегии. Анализ показывает, что такая интеграция не является самоцелью, а приводит к измеримым положительным результатам: росту вовлеченности аудитории, увеличению времени взаимодействия с брендом и снижению показателя отказов на цифровых платформах.

3. Таким образом, формирование корпоративной идентичности в современном промышленном секторе должно рассматриваться не как набор статичных правил, а как динамичный процесс культурного строительства. Руководителям и маркетологам необходимо развивать не только технологические, но и эстетические компетенции, следить за глобальными трендами в дизайне, искусстве и визуальных коммуникациях.

4. Консервативная стратегия, основанная на игнорировании культурного контекста, в долгосрочной перспективе ведет к потере конкурентоспособности, поскольку в цифровом мире визуальный образ компании становится неотделим от ее репутации как инновационного и современного игрока.

5. Будущее принадлежит тем промышленным предприятиям, которые смогут гармонично синтезировать свое технологическое наследие с передовым художественным видением, создавая целостные, убедительные и эмоционально привлекательные бренды для глобальной

2. Серостанова О. Б. Культурные индустрии в условиях цифровизации общества: проблемы и перспективы // Наука. Искусство. Культура. 2023. № 1 (37). С. 83–103.

3. Есаков В. А., Перелыгина И. А. О взаимодействии корпоративной и социальной идентичностей // Вестник Московского государственного университета культуры и искусств. 2025. № 2 (214). С. 40–48.

4. Nedashkivska T., Zarichanskyi O., Pugachov V. et al. Analysis of cultural and identity transformations in the modern world // Multidisciplinary Reviews. 2024. Т. 7. № 10. С. 2024244.

5. Воеводин А. П., Серещева Т. В. Трансформации социокультурной идентичности человека в современной коммуникативной среде // Культурная жизнь Юга России. 2024. № 4 (95). С. 14–24.

6. Полякова Е. К. Корпоративная культура в системе цифровой трансформации современных российских организаций // Проблемы теории и практики управления. 2024. № 3–4. С. 43–54.

7. Кузнецова Е. В. Этнокультурная идентичность в информационном обществе: особенности определения и перспективы развития // Современная молодежь и общество. 2024. № 12. С. 85–90.

8. Рагер Ю. Б., Биражакли М. И. Проблемы культурно-национальной идентичности в эпоху цифровизации (правовой аспект) // Наукосфера. 2024. № 9–1. С. 97–101.

9. Галмагова Г. М. Культурная идентичность в эпоху глобализации: теоретико-философский анализ // Актуальная культура. 2024. № 3.

10. Терлецкий В. А. Проблема социокультурной идентичности в интернет-пространстве на примере идеологии космополитизма // Векторы благополучия: экономика и социум. 2024. Т. 52. № 3. С. 128–135.

11. Туранина Н. А., Малышева М. С., Туранин В. Ю. Фирменный стиль кафедры как неотъемлемая часть корпоративной культуры современного вуза // Культура: управление, экономика, право. 2025. № 2. С. 37–42.

12. Карнажицкая Т. В. Национальная идентичность в контексте стратегий динамики художественной культуры // Вестник Белорусского государственного университета культуры и искусств. 2024. № 4 (54). С. 5–10.

13. Морозова Е. И. Формирование национально-культурной идентичности как функция зрелищности и зрелищной культуры // Ученый совет. 2024. № 7 (235). С. 460–467.

14. Павлова О. А. Культурное наследие как основа самоидентификации России в эпоху креативных индустрий // Культурная жизнь Юга России. 2023. № 3 (90). С. 49–62.

15. Полякова Е. К. Особенности национальной культуры как фактор трансформации корпоративной культуры // Проблемы теории и практики управления. 2025. № 4. С. 143–152.

Список литературы

1. Москалюк В. М. Проблема идентичности и многообразия культур в условиях мировой глобализации // Культурная жизнь Юга России. 2024. № 3 (94). С. 15–24.

References

1. Moskalyuk V.M. The problem of identity and cultural diversity in the context of global globalization. *Cultural Life of the South of Russia*, 2024, no. 3 (94), pp. 15–24.

2. Serostanova O. B. Cultural industries in the context of society's digitalization: problems and prospects. *Science. Art. Culture.*, 2023, no. 1 (37), pp. 83–103.
3. Esakov V. A., Pereyagina I. A. On the interaction of corporate and social identities. *Bulletin of the Moscow State University of Culture and Arts*, 2025, no. 2 (214), pp. 40–48.
4. Nedashkivska T., Zarichanskyi O., Pugachov V. et al. Analysis of cultural and identity transformations in the modern world. *Multidisciplinary Reviews*, 2024, vol. 7, no. 10, pp. 2024244.
5. Voevodin A. P., Serishcheva T. V. Transformations of sociocultural identity of an individual in the modern communicative environment. *Cultural Life of the South of Russia*, 2024, no. 4 (95), pp. 14–24.
6. Polyakova E. K. Corporate culture in the system of digital transformation of modern Russian organizations. *Problems of Theory and Practice of Management*, 2024, no. 3–4, pp. 43–54.
7. Kuznetsova E. V. Ethnocultural identity in the information society: features of definition and development prospects. *Modern Youth and Society*, 2024, no. 12, pp. 85–90.
8. Rager Yu. B., Birazhahli M. I. Problems of cultural and national identity in the era of digitalization (legal aspect). *Naukosphere*, 2024, no. 9–1, pp. 97–101.
9. Galmagova G. M. Cultural identity in the era of globalization: theoretical and philosophical analysis. *Current Culture*, 2024, no. 3.
10. Terletsky V. A. The problem of sociocultural identity in the Internet space on the example of the ideology of cosmopolitanism. *Vectors of Well-being: Economy and Society*, 2024, vol. 52, no. 3, pp. 128–135.
11. Turanina N. A., Malysheva M. S., Turanin V. Yu. Faculty's corporate style as an integral part of the corporate culture of a modern university. *Culture: Management, Economy, Law.*, 2025, no. 2, pp. 37–42.
12. Karnazhitskaya T. V. National identity in the context of strategies of dynamics of artistic culture. *Bulletin of the Belarusian State University of Culture and Arts*, 2024, no. 4 (54), pp. 5–10.
13. Morozova E. I. Formation of national-cultural identity as a function of theatricality and show culture. *Academic Council*, 2024, no. 7 (235), pp. 460–467.
14. Pavlova O. A. Cultural heritage as the basis of Russia's self-identification in the era of creative industries. *Cultural Life of the South of Russia*, 2023, no. 3 (90), pp. 49–62.
15. Polyakova E. K. Features of national culture as a factor in the transformation of corporate culture. *Problems of Theory and Practice of Management*. 2025. No. 4. Pp. 143–152.

УДК 339.17

Д. Е. МОРКОВКИН, канд. экономич. наук (Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва)

D. E. Morkovkin, (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow)

Налоговое стимулирование несырьевого экспорта: эффективность льгот для экспорта высокотехнологичной продукции и услуг с высокой добавленной стоимостью

Tax incentives for non-resource exports: the effectiveness of incentives for exports of high-tech products and services with high added value

Современная структурная трансформация российской экономики в условиях геополитических вызовов актуализирует необходимость диверсификации экспортной структуры и стимулирования развития несырьевого экспорта как основы долгосрочной конкурентоспособности. Данное исследование посвящено комплексному анализу налоговых инструментов стимулирования экспорта высокотехнологичной продукции и услуг с высокой добавленной стоимостью, а также оценке их эффективности в контексте достижения стратегических целей диверсификации экономики. Рассматриваются теоретические основы налогового стимулирования экспортной деятельности, систематизируются современные подходы к формированию экспортно-ориентированной налоговой политики и анализируется международный опыт применения налоговых льгот для развития несырьевого экспорта. Особое внимание уделяется исследованию эволюции российской системы налогового стимулирования экспорта от универсальных преференций к адресным мерам поддержки высокотехнологичных отраслей и инновационных производств. Исследование демонстрирует, что эффективность налогового стимулирования несырьевого экспорта определяется не только масштабом предоставляемых льгот, но и их интеграцией с мерами промышленной политики, развитием экспортной инфраструктуры и формированием конкурентоспособных национальных производителей. Анализируются результаты

применения нулевой ставки НДС при экспорте, особенности налогообложения экспорта услуг и специфика налогового стимулирования экспорта продукции с высокой добавленной стоимостью. Выявлены ключевые факторы результативности налогового стимулирования: комплексность подхода к поддержке экспортеров, учет отраслевой специфики производства, координация налоговой политики с валютным регулированием и торговой политикой. Установлено снижение объема несырьевого неэнергетического экспорта России до ста сорока пяти миллиардов долларов в две тысячи двадцать четвертом году, что обуславливает необходимость совершенствования механизмов налогового стимулирования. Разработанная автором концептуальная модель налогового стимулирования несырьевого экспорта включает принципы дифференцированного подхода к различным категориям экспортеров, стимулирования инноваций в экспортных отраслях и обеспечения долгосрочной устойчивости экспортного развития.

The current structural transformation of the Russian economy in the context of geopolitical challenges actualizes the need to diversify the export structure and stimulate the development of non-resource exports as the basis for long-term competitiveness. This study is devoted to a comprehensive analysis of tax instruments for stimulating the export of high-tech products and services with high added value, as well as an assessment of their effectiveness in the context of achieving the strategic goals of economic diversification. The theoretical foundations of tax incentives for export activities are considered, modern approaches to the formation of an export-oriented tax policy are systematized, and international experience in applying tax incentives for the development of non-resource exports is analyzed. Particular attention is paid to the study of the evolution of the Russian system of tax incentives for exports from universal preferences to targeted measures to support high-tech industries and innovative industries. The study demonstrates that the effectiveness of tax incentives for non-resource exports is determined not only by the scale of the benefits provided, but also by their integration with industrial policy measures, the development of export infrastructure and the formation of competitive national producers. The results of applying the zero VAT rate on exports, the features of taxation of exports of services and the specifics of tax incentives for exports of products with high added value are analyzed. The key factors of the effectiveness of tax incentives are identified: a comprehensive approach to supporting exporters, taking into account the industry specifics of production, coordination of tax policy with currency regulation and trade policy. A decrease in the volume of non-resource non-energy exports of Russia to one hundred and forty-five billion dollars in two thousand and twenty-four was established, which necessitates the improvement of tax incentive mechanisms. The conceptual model of tax incentives for non-resource exports developed by the author includes the principles of a differentiated approach to various categories of exporters, stimulating innovation in export industries and ensuring long-term sustainability of export development.

Ключевые слова: несырьевой экспорт; налоговое стимулирование; высокотехнологичная продукция; добавленная стоимость; экспортные льготы; НДС при экспорте; диверсификация экономики; конкурентоспособность; инновационное развитие.

Keywords: non-resource exports; tax incentives; high-tech products; added value; export benefits; VAT on exports; economic diversification; competitiveness; innovative development.

Структурная трансформация мировой экономики и усиление международной конкуренции в сфере высокотехнологичной продукции обуславливают критическую важность развития несырьевого экспорта для обеспечения долгосрочной устойчивости национальной экономики. В условиях геополитической нестабильности и изменения конфигурации международных торговых отношений налоговое стимулирование экспорта высокотехнологичной продукции и услуг с высокой добавленной стоимостью приобретает стратегическое значение для формирования конкурентоспособной экспортно-ориентированной экономики.

Современные тенденции развития несырьевого экспорта России характеризуются противоречивой динамикой, обусловленной воздействием внешних ограничений и внутренних структурных проблем. Объем несырьевого неэнергетического экспорта России сокращается на 2 % в 2024 г. и составляет 145 млрд долл., что является минимальным значением за последние 7 лет и актуализирует вопросы совершенствования механизмов государственной поддержки экспортеров.

Научная проблема заключается в недостаточной теоретической проработке комплексного подхода к налоговому стимулированию несырьевого экспорта,

учитывающего специфику различных категорий экспортной продукции, особенности конкуренции на мировых рынках и необходимость координации налоговой политики с другими направлениями государственного регулирования. Существующие подходы к налоговому стимулированию экспорта характеризуются фрагментарностью, недостаточным учетом отраслевой специфики и ограниченной связью с долгосрочными целями структурной трансформации экономики.

Объектом исследования выступают налоговые инструменты стимулирования экспорта высокотехнологичной продукции и услуг с высокой добавленной стоимостью.

Предметом исследования являются механизмы формирования и реализации налоговых льгот, направленных на развитие несырьевого экспорта в условиях структурной трансформации российской экономики.

Цель данной работы – разработка теоретических основ и практических рекомендаций по совершенствованию системы налогового стимулирования несырьевого экспорта на основе анализа эффективности существующих механизмов и международного опыта.

Задачи исследования:

1. Проведение анализа теоретических подходов к налоговому стимулированию экспортной деятельности и систематизация международного опыта применения налоговых льгот для развития несырьевого экспорта.

2. Исследование современного состояния российской системы налогового стимулирования экспорта и оценка эффективности действующих механизмов поддержки экспортеров высокотехнологичной продукции.

3. Разработка рекомендаций по совершенствованию налогового стимулирования несырьевого экспорта с учетом стратегических целей диверсификации экономики и повышения ее конкурентоспособности.

Научная новизна исследования заключается в создании интегрированной концептуальной модели налогового стимулирования несырьевого экспорта, объединяющей принципы эффективного налогового регулирования с современными требованиями развития высокотехнологичных отраслей. Впервые предложена система показателей комплексной оценки эффективности налогового стимулирования экспорта, учитывающая макроэкономические, отраслевые и микроэкономические эффекты.

Практическая значимость работы определяется возможностью применения разработанных теорети-

ческих принципов и методологических подходов в практике формирования экспортно-ориентированной налоговой политики и разработки мер государственной поддержки несырьевого экспорта.

Материалы и методы исследования

Методологическую основу исследования составляют принципы системного подхода в экономической науке, позволяющие рассматривать налоговое стимулирование несырьевого экспорта как элемент общей системы государственного регулирования внешнеэкономической деятельности.

Теоретической базой выступают концепции экспортно-ориентированного развития, разрабатываемые представителями различных научных школ, принципы налогового стимулирования экономического развития, а также современные представления о механизмах повышения международной конкурентоспособности.

Общие стратегии и механизмы стимулирования несырьевого экспорта исследуются в работах [1–3], рассматривающими механизмы развития, финансовую поддержку и современные инструменты стимулирования экспортно-ориентированных инвестиционных проектов.

Факторы и эффективность развития несырьевого экспорта анализируются Глухих П. Л., Судаковым С. С., изучающими факторы роста и сдерживания российского несырьевого экспорта, а также эффективность российских институтов поддержки несырьевого неэнергетического экспорта [4, 5].

Региональные и национальные аспекты поддержки экспорта освещаются в статьях [6, 7], исследующих результативность региональных мер поддержки экспорта и возможности развития несырьевого экспорта в контексте реализации национальных проектов.

Структурные характеристики российского экспорта рассматриваются Вербиной В. В., Соколовой Е. С., предлагающими новые подходы к анализу структуры российского экспорта и определяющими место России в современной мировой торговле [8, 9].

Налоговое регулирование внешнеэкономической деятельности исследуется в источнике [10], анализирующем систему налогового регулирования внешнеэкономической деятельности в России.

Налоговая политика и стимулирование экономического развития рассматриваются в работах [11, 12], изучающих налоговый потенциал как фактор стимулирования инновационной экономики и влияние налоговой политики на инвестиционный климат.

Налоговые инструменты поддержки предпринимательства анализируются Гончаренко Л. И. и Мельниковой Н. П., рассматривающими налоговые

механизмы стимулирования развития малого и среднего предпринимательства в историческом аспекте и перспективах развития [13].

Перспективы развития налоговой системы исследуются в работе [14], анализирующей целевые ориентиры в преобразовании налоговой системы России.

В качестве основного метода исследования использован сравнительный анализ международного опыта налогового стимулирования экспорта, включающий систематизацию и обобщение результатов применения различных моделей налогового регулирования экспортной деятельности. Применялись методы статистического анализа динамики показателей несырьевого экспорта, эконометрического моделирования взаимосвязей между налоговыми льготами и результатами экспортной деятельности, а также экспертной оценки эффективности различных инструментов налогового стимулирования.

Результаты исследования и их обсуждение

Теоретические основы налогового стимулирования экспортной деятельности формировались в контексте развития концепций международной торговли и экономического роста, начиная с классических работ представителей школы меркантилизма, обосновывавших необходимость государственной поддержки экспорта для обеспечения положительного торгового баланса. Эволюция научных представлений о роли государства в стимулировании экспорта демонстрирует постепенный переход от простых форм субсидирования к сложным системам налогового стимулирования, учитывающим специфику различных отраслей и видов экспортной деятельности. Каждый этап развития теории международной

торговли вносил качественно новые элементы в понимание механизмов государственной поддержки экспорта и возможностей их практической реализации. Эволюция теоретических подходов к налоговому стимулированию экспорта представлена в таблице 1 [15–17].

Меркантилистская школа экономической мысли впервые системно обосновывает необходимость государственной поддержки экспорта как средства укрепления национальной экономики и накопления богатства. Представители данного направления разрабатывают первые практические инструменты стимулирования экспорта, включая экспортные премии, льготное налогообложение экспортеров и прямые субсидии. Классическая школа политической экономии кардинально меняет подходы к пониманию роли государства в международной торговле, обосновывая принципы свободной торговли и концепцию сравнительных преимуществ.

Неоклассическая теория международной торговли развивает представления о факторных основах международной специализации и обосновала возможности косвенного стимулирования экспорта через развитие факторов производства. Анализ изменений внешней торговли России в 2024 г. показывает сохранение сырьевой ориентации экспорта при постепенном развитии новых направлений несырьевого экспорта, особенно в азиатском направлении.

Развитие теории экспортно-ориентированного роста в 1950–1980 гг. ознаменовывает новый этап в понимании роли экспорта в экономическом развитии и обосновывает возможности целевого налогового стимулирования экспортных отраслей. Представители данного направления демонстрируют связь между

Эволюция теоретических подходов к налоговому стимулированию экспорта Таблица 1

Исторический период	Теоретическая школа	Основные представители	Ключевые концепции	Подходы к стимулированию экспорта
XVI–XVIII вв.	Меркантилизм	Ж.-Б. Кольбер, Т. Мэн	Активный торговый баланс, накопление золота	Прямое субсидирование экспорта, экспортные премии
XVIII–XIX вв.	Классическая школа	А. Смит, Д. Рикардо	Теория сравнительных преимуществ, свободная торговля	Устранение торговых барьеров, налоговый нейтралитет
XIX–XX вв.	Неоклассическая теория	А. Маршалл, Э. Хекшер, Б. Олин	Факторные преимущества, международное разделение труда	Косвенное стимулирование через развитие факторов производства
1950–1980 гг.	Теория экспортно-ориентированного роста	А. Льюис, Х. Ченери	Экспорт как двигатель роста, структурные сдвиги	Целевое налоговое стимулирование экспортных отраслей
1980–2000 гг.	Новая теория торговли	П. Кругман, М. Портер	Конкурентные преимущества, кластерный подход	Комплексное стимулирование конкурентоспособности
2000–н.в.	Теория глобальных цепочек стоимости	Г. Джереффи, Дж. Хамфри	Фрагментация производства, участие в ГЦС	Стимулирование интеграции в глобальные цепочки

развитием экспорта и общими темпами экономического роста, что становится теоретической основой для формирования активной политики поддержки экспортеров.

Современный этап развития теории характеризуется формированием комплексных подходов к стимулированию экспорта, учитывающих глобализацию мировой экономики, развитие глобальных цепочек стоимости и усиление роли инноваций в формировании конкурентных преимуществ. Современная государственная политика поддержки несырьевого экспорта в России характеризуется комплексным подходом, включающим различные инструменты стимулирования от налоговых льгот до развития экспортной инфраструктуры.

Анализ современного состояния российского несырьевого экспорта представлен в табл. 2 [18–20].

Структурный анализ российского несырьевого экспорта выявляет преобладание традиционных отраслей, включая металлургию и продовольственные товары, при относительно низкой доле высокотехнологичной продукции. Положительную динамику демонстрируют продовольственные товары и машины и оборудование, что свидетельствует о потенциале развития экспорта продукции с высокой добавленной стоимостью. Однако общие объемы несырьевого экспорта остаются недостаточными для обеспечения структурной диверсификации российской экономики.

Система налогового стимулирования несырьевого экспорта в России включает различные инструменты поддержки экспортеров, дифференцированные по видам деятельности и категориям товаров. Основным инструментом налогового стимулирования экспорта является применение нулевой ставки НДС при реализации товаров и услуг на экспорт, что позволяет исключить налогообложение экспортной деятельности и обеспечить конкурентоспособность российских товаров на мировых рынках.

Эффективность налогового стимулирования несырьевого экспорта по отраслям представлена на рисунке [21, 22].

Представленная схема демонстрирует дифференцированную эффективность налогового стимулирования в различных отраслях несырьевого экспорта. Наиболее высокие темпы роста экспорта достигнуты в сфере информационных технологий и услуг, где действует комплексная система налоговых льгот, включая нулевую ставку налога на прибыль для ИТ-компаний. Агропромышленный комплекс также демонстрирует значительный рост экспорта благодаря расширению льгот по упрощенной системе налогообложения и активной государственной поддержке.

Международный опыт налогового стимулирования несырьевого экспорта демонстрирует разнообразие подходов и инструментов, применяемых различными странами для развития экспортного потенциала. Опыт стран Евразийского экономического союза показывает важность региональной координации политики стимулирования экспорта и развития взаимной торговли несырьевыми товарами.

Специфика налогового стимулирования различных категорий несырьевого экспорта проанализирована в табл. 3 [22].

Анализ налогового стимулирования различных категорий несырьевого экспорта выявляет значительную дифференциацию как по объему предоставляемых льгот, так и по достигаемым результатам. Наиболее эффективными с точки зрения прироста экспорта оказываются меры поддержки инновационной продукции и услуг, характеризующиеся высокой добавленной стоимостью и значительным экспортным потенциалом. Промышленная продукция, несмотря на большой объем налоговых льгот, демонстрирует более скромные темпы роста экспорта.

Региональные аспекты налогового стимулирования несырьевого экспорта приобретают особое значение в контексте пространственного развития российской экономики и формирования региональных экспортных кластеров. Факторы, влияющие на динамику экспорта, включают не только налоговое стимулирование, но и валютные ограничения, санкции и логистические проблемы, что требует комплексного подхода к поддержке экспортеров.

Эффективность различных инструментов налогового стимулирования экспорта представлена в таблице 4 [23–25].

Сравнительный анализ эффективности различных инструментов налогового стимулирования экспорта показывает, что наиболее высокими коэффициентами эффективности характеризуются льготы по страховым взносам и налогу на прибыль, обеспечивающие значительный прирост экспорта при относительно умеренных бюджетных затратах. Универсальное применение нулевой ставки НДС, несмотря на широкий охват, характеризуется более низкой эффективностью из-за высоких бюджетных затрат.

Проблемы координации налогового стимулирования экспорта с другими направлениями государственной политики требуют системного подхода к формированию экспортно-ориентированной экономики. Предложения бизнес-сообщества по совершенствованию налогового стимулирования экспорта включают ускорение возмещения НДС, расширение льгот для приобретения товаров, направляемых на экспорт, и упрощение процедур налогового администрирования.

Таблица 2

Структура и динамика несырьевого экспорта России (2022–2024 гг.)

Категория экспорта	2022 г., млрд долл.	2023 г., млрд долл.	2024 г., млрд долл.	Темп роста 2024/2022, %	Доля в общем экспорте, %
Продовольственные товары	38,2	41,8	42,6	111,5	15,3
Химическая продукция	28,4	26,1	27,6	97,2	9,9
Металлы и изделия из них	65,8	58,2	63,7	96,8	22,9
Машины и оборудование	22,1	21,8	23,4	105,9	8,4
Древесина и ЦБП	9,8	9,5	10,1	103,1	3,6
Прочие товары	26,1	25,4	27,8	106,5	10
Итого несырьевой экспорт	190,4	182,8	195,2	102,5	70,1

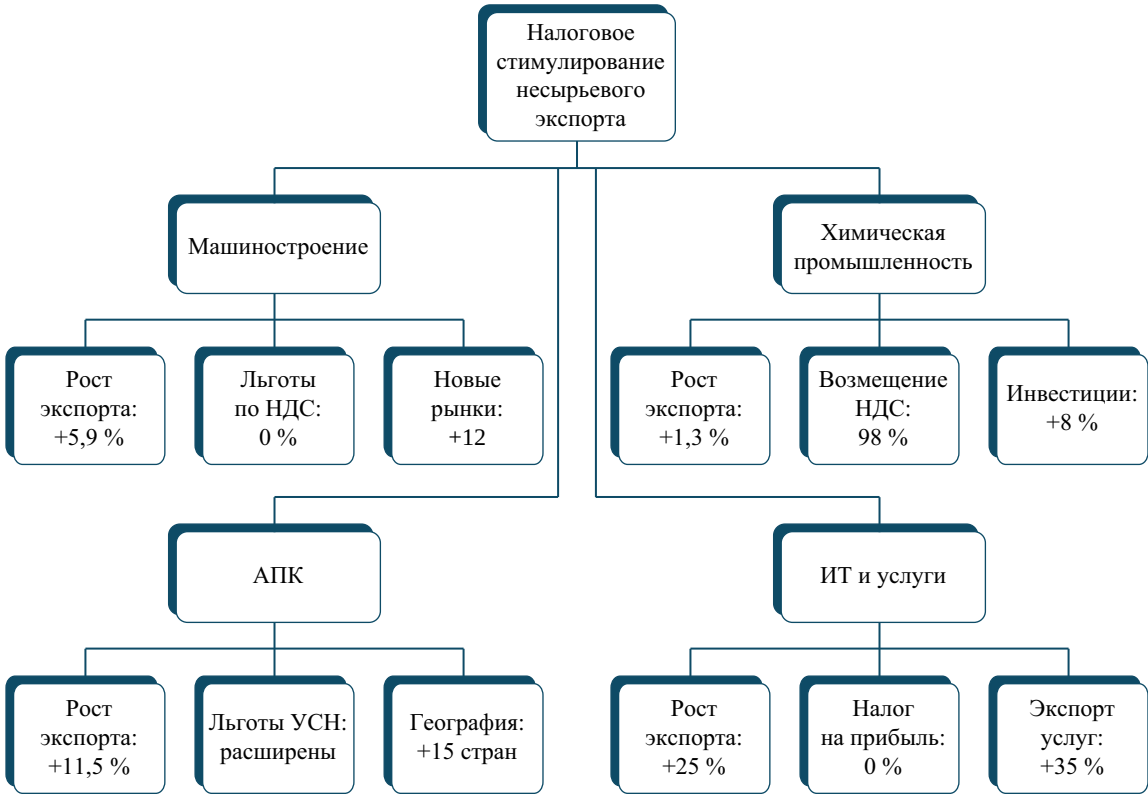


Рисунок. Эффективность налогового стимулирования несырьевого экспорта по отраслям на 2024 г.

Таблица 3

Налоговое стимулирование различных категорий несырьевого экспорта

Категория экспорта	Основные налоговые льготы	Условия предоставления	Бюджетный эффект, млрд руб.	Экспортный эффект
Высокотехнологичная продукция	НДС 0 %, льготы по налогу на прибыль, ускоренная амортизация	Включение в реестр высокотехнологичной продукции	45,2	Рост на 18 %
Продукция АПК	НДС 0 %, льготы по ЕСХН, льготы по земельному налогу	Соблюдение требований качества и безопасности	28,7	Рост на 12 %
Услуги	НДС 0 %, льготы по налогу на прибыль для ИТ	Экспорт за пределы ЕАЭС	15,3	Рост на 25 %
Промышленная продукция	НДС 0 %, льготы для резидентов ОЭЗ	Локализация производства, инвестиции	67,8	Рост на 8 %
Инновационная продукция	Комплексные льготы, льготы по НИОКР	Подтверждение инновационного характера	12,4	Рост на 35 %

Таблица 4

Сравнительная эффективность инструментов налогового стимулирования экспорта

Инструмент стимулирования	Охват экспортеров	Бюджетные затраты	Прирост экспорта	Коэффициент эффективности	Административная сложность
НДС по ставке 0 %	Универсальный	Высокие	Средний	0,8	Средняя
Льготы по налогу на прибыль	Отраслевой	Средние	Высокий	1,4	Низкая
Ускоренная амортизация	Инвестиционный	Низкие	Средний	1,2	Низкая
Льготы по страховым взносам	Отраслевой	Средние	Высокий	1,6	Средняя
Освобождение от налогов в ОЭЗ	Территориальный	Высокие	Высокий	1,1	Высокая

Прогнозные оценки развития несырьевого экспорта России предусматривают существенное увеличение объемов экспорта при повышении эффективности налогового стимулирования. Ключевым фактором успеха становится увеличение доли высокотехнологичной продукции в структуре экспорта с восемнадцати до тридцати пяти процентов к две тысячи тридцатому году, что требует совершенствования механизмов поддержки инновационных экспортеров.

Особенности налогового стимулирования экспорта услуг как наиболее динамично развивающегося сегмента несырьевого экспорта требуют специального рассмотрения. Экспорт услуг характеризуется высокой добавленной стоимостью, низкими транспортными издержками и значительным потенциалом роста в условиях цифровизации экономики. Развитие экспорта инжиниринговых, консалтинговых, образовательных и ИТ-услуг становится приоритетным направлением диверсификации российского экспорта.

Влияние международных санкций на эффективность налогового стимулирования экспорта создает дополнительные вызовы для российских экспортеров и требует адаптации механизмов государственной поддержки. Ограничения доступа к международным финансовым рынкам, логистические проблемы и необходимость поиска новых рынков сбыта обуславливают потребность в усилении налогового стимулирования и расширении спектра мер поддержки экспортеров.

Цифровизация процессов налогового администрирования экспорта открывает новые возможности для повышения эффективности государственной поддержки экспортеров. Внедрение цифровых платформ для взаимодействия с экспортерами, автоматизация процедур возмещения НДС и развитие системы электронного документооборота способствуют снижению административных издержек и ускорению получения налоговых льгот.

Перспективы развития налогового стимулирования несырьевого экспорта связаны с формированием долгосрочной стратегии поддержки экспортно-ориентированных отраслей, учитывающей изменения

конфигурации мировой торговли и технологические тренды развития. Важным направлением становится создание специальных налоговых режимов для экспортеров высокотехнологичной продукции, включая льготы для резидентов технопарков, участников проектов национальной технологической инициативы и разработчиков критически важных технологий.

Развитие экосистемного подхода к налоговому стимулированию экспорта предполагает координацию налоговых льгот с мерами финансовой поддержки, развитием экспортной инфраструктуры и формированием международных технологических альянсов. Такой комплексный подход позволяет максимизировать синергетический эффект от различных инструментов государственной поддержки и обеспечить устойчивое развитие экспортного потенциала российской экономики.

Международная координация налогового стимулирования экспорта в рамках евразийской интеграции открывает дополнительные возможности для развития взаимной торговли и формирования региональных цепочек создания стоимости. Гармонизация подходов к налоговому стимулированию экспорта между странами ЕАЭС способствует устранению торговых барьеров и созданию единого экономического пространства для несырьевых товаров.

Выводы. 1. Проведенный анализ теоретических подходов к налоговому стимулированию экспортной деятельности выявил эволюцию научных представлений от меркантилистских концепций прямого субсидирования экспорта до современных комплексных подходов, учитывающих специфику глобальных цепочек стоимости и технологические факторы конкурентоспособности. Установлена трансформация понимания роли государства в стимулировании экспорта от простых форм финансовой поддержки до формирования сложных систем налогового регулирования, интегрированных с промышленной и инновационной политикой. Обоснована ведущая роль теории экспортно-ориентированного роста в развитии концепции целевого налогового стимулирования экспортных отраслей.

2. Исследование современного состояния российской системы налогового стимулирования экспорта демонстрирует значительную дифференциацию эффективности различных инструментов поддержки экспортеров. Выявлено, что наиболее высокими коэффициентами эффективности характеризуются льготы по страховым взносам и налогу на прибыль, обеспечивающие коэффициенты эффективности 1,6 и 1,4, соответственно. Установлено снижение объема несырьевого неэнергетического экспорта России до 145 млрд долл. в 2024 г., что обуславливает необходимость совершенствования механизмов налогового стимулирования.

3. Разработанные рекомендации по совершенствованию налогового стимулирования несырьевого экспорта включают формирование дифференцированной системы налоговых льгот для различных категорий экспортной продукции, усиление поддержки экспорта высокотехнологичных товаров и услуг, развитие цифровых технологий налогового администрирования экспорта. Предложена концептуальная модель налогового стимулирования, предусматривающая увеличение объема несырьевого экспорта до двухсот сорока пяти миллиардов долларов к две тысячи тридцатому году при повышении доли высокотехнологичной продукции до тридцати пяти процентов. Обоснованы направления развития экосистемного подхода к налоговому стимулированию, предполагающего координацию налоговых льгот с другими инструментами государственной поддержки экспортеров и международную гармонизацию подходов к стимулированию несырьевого экспорта.

Список литературы:

1. Колодина О. Н. Стимулирование развития несырьевого экспорта: механизмы и стратегия развития // Вестник Академии знаний. 2024. № 4 (63). С. 215–220.
2. Мамедов Т. Н. О. Финансовая поддержка несырьевого экспорта, обеспечивающая динамичное развитие экономики России // Мир новой экономики. 2024. Т. 18. № 3. С. 114–124.
3. Кузминых Ю. В., Наумова Е. А. Современные инструменты стимулирования экспортно-ориентированных инвестиционных проектов // Вестник Удмуртского университета. Серия «Экономика и право». 2022. Т. 32. № 3. С. 451–459.
4. Киреенко А. П., Содномова С. К. Результативность региональных мер поддержки экспорта и влияние на инвестиции // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 2 (49). С. 258–267.
5. Глухих П. Л. Факторы роста и сдерживания российского несырьевого экспорта // Российский внешнеэкономический вестник. 2022. № 9. С. 26–42.
6. Судаков С. С. Эффективность российских институтов поддержки несырьевого неэнергетического экспорта // Вопросы государственного и муниципального управления. 2022. № 1. С. 49–77.
7. Бельчик Т. А., Бабенко Е. С. Возможности развития несырьевого экспорта в контексте реализации национального проекта // Beneficium. 2022. № 4 (45). С. 34–41.
8. Максимчук О. В., Чижо Л. Н., Савченко М. Н. Налоговый потенциал как фактор стимулирования эффективности инновационной экономики в современных условиях // Актуальные проблемы экономики и менеджмента. 2021. № 2 (30). С. 60.
9. Мальцев А. А., Чичилимов С. В. Налоговое регулирование внешнеэкономической деятельности в России // Российский внешнеэкономический вестник. 2021. № 9. С. 7–24.
10. Чернов В. А. Влияние налоговой политики на инвестиционный климат и развитие российской экономики // Современная налоговая система: состояние, проблемы и перспективы развития. 2021. С. 232–238.
11. Гончаренко Л. И., Мельникова Н. П. Налоговые инструменты стимулирования развития малого и среднего предпринимательства: исторический аспект и перспективы развития в России // Экономика. Налоги. Право. 2022. Т. 15. № 6. С. 122–133.
12. Вербина В. В. Новые подходы к анализу структуры российского экспорта // Вестник Российской таможенной академии. 2023. № 2 (63). С. 21–29.
13. Голик Е. Н. Анализ целевых ориентиров в преобразовании налоговой системы России // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки. 2025. С. 103.
14. Соколова Е. С. Место и роль России в современной мировой торговле // Мировая экономика и мировые финансы. 2025. Т. 4. № 1. С. 5–14.
15. Абрамов Р. А. Теоретические подходы к диверсификации экономических систем // Экономический анализ: теория и практика. 2009. № 28. С. 37–42.
16. Окунь А. С., Стешенко Ю. А. Концептуальный подход к государственной политике импортозамещения с привлечением механизма налогового стимулирования // Экономика устойчивого развития. 2015. № 3. С. 356–366.
17. Нехайчук Д. В., Тарасова Н. А., Трофимова В. В. Теоретико-методологические подходы к формированию механизма стимулирования развития промышленности // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2017. Т. 6. № 1 (18). С. 145–152.
18. Грабовская А. А. Несырьевой неэнергетический экспорт Российской Федерации // Актуальные исследования. 2025. № 16 (251). С. 40–44.
19. Вербина В. В. Российский несырьевой неэнергетический экспорт в условиях санкций // Актуальные проблемы экономики и управления. 2024. № 3 (43). С. 33–36.
20. Сычева К. Г. Интеграция России в глобальные производственные цепочки: перспективы развития несырьевого неэнергетического экспорта // Вестник Московского университета имени С. Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2024. № 4 (51). С. 7–17.
21. Чернов В. А. Проблема дефицита Федерального бюджета и налоговые механизмы ресурсного обеспечения развития экономики // Научный журнал НИУ ИТМО. Се-

рия «Экономика и экологический менеджмент». 2024. № 2. С. 48–57.

22. Перская В. В., Аржаев Ф. И. Возможности модернизации федерального проекта «Промышленный экспорт» // Российский внешнеэкономический вестник. 2024. № 10. С. 25–42.

23. Разу С. Б. Анализ зарубежной практики налогового стимулирования развития высокотехнологичной промышленности // Налоги и налогообложение. 2024. № 3. С. 45–65.

24. Морковкин Д. Е. Налоговые инструменты поддержки политики импортозамещения: оценка влияния льготного налогообложения на развитие стратегических отраслей российской экономики // Вестник евразийской науки. 2025. Т. 17. № S4.

25. Перская В. В. Использование потенциала глобальных цепочек стоимости в целях развития реального сектора экономики // Экономика. Налоги. Право. 2015. № 2. С. 34–39.

References

- Kolodina O. N. Stimulating the development of non-resource exports: mechanisms and development strategy. *Bulletin of the Academy of Knowledge*, 2024, no. 4 (63), pp. 215–220.
- Mamedov T. N. O. Financial support for non-resource exports, ensuring the dynamic development of the Russian economy. *The World of New Economy*, 2024, vol. 18, no. 3, pp. 114–124.
- Kuzminykh Yu. V., Naumova E. A. Modern tools for stimulating export-oriented investment projects. *Bulletin of the Udmurt University. Series «Economics and Law»*, 2022, vol. 32, no. 3, pp. 451–459.
- Kireenko A. P., Sodnomova S. K. Effectiveness of regional export support measures and their impact on investments. *Izvestiya vuzov. Investments. Construction. Real estate*, 2024, vol. 14, no. 2 (49), pp. 258–267.
- Glukhikh P. L. Factors of Growth and Restraint of Russian Non-Resource Exports. *Russian Foreign Economic Bulletin*, 2022, no. 9, pp. 26–42.
- Sudakov S. S. The Effectiveness of Russian Institutions Supporting Non-Resource and Non-Energy Export. *Issues of State and Municipal Administration*, 2022, no. 1, pp. 49–77.
- Belchik T. A., Babenko E. S. Opportunities for the Development of Non-Resource Exports in the Context of the Implementation of a National Project. *Beneficium*, 2022, no. 4 (45), pp. 34–41.
- Maksimchuk O. V., Chizhko L. N., Savchenko M. N. Tax Potential as a Factor in Stimulating the Efficiency of an Innovative Economy in Modern Conditions. *Actual Problems of Economics and Management*, 2021, no. 2 (30), pp. 60.
- Maltsev A. A., Chichilimov S. V. Tax Regulation of Foreign Economic Activity in Russia. *Russian Foreign Economic Bulletin*, 2021, no. 9, pp. 7–24.
- Chernov V. A. The Impact of Tax Policy on the Investment Climate and Development of the Russian Economy. *The Modern Tax System: State, Problems, and Development Prospects*, 2021, pp. 232–238.
- Goncharenko L. I., Melnikova N. P. Tax Instruments for Stimulating the Development of Small and Medium-Sized Businesses: Historical Aspects and Prospects for Development in Russia. *Economics. Taxes. Law*, 2022, vol. 15, no. 6, pp. 122–133.
- Verbina V. V. New Approaches to Analyzing the Structure of Russian Exports. *Vestnik of Russian Customs Academy*, 2023, no. 2 (63), pp. 21–29.
- Golik E. N. Analysis of Target Guidelines in the Transformation of Russia's Tax System. *State and Municipal Administration. Scientific Notes*, 2025, pp. 103.
- Sokolova E. S. Russia's Place and Role in Modern Global Trade. *World Economy and Global Finance*, 2025, vol. 4, no. 1, pp. 5–14.
- Abramov R. A. Theoretical approaches to the diversification of economic systems. *Economic analysis: theory and practice*, 2009, no. 28, pp. 37–42.
- Okun A. S., Steshenko Yu. A. Conceptual approach to the state policy of import substitution with the involvement of the mechanism of tax incentives. *Economics of sustainable development*, 2015, no. 3, pp. 356–366.
- Nekhaychuk D. V., Tarasova N. A., Trofimova V. V. Theoretic and methodological approaches to the formation of the mechanism of stimulating the development of industry. *Azimut of scientific research: economics and management*, 2017, vol. 6, no. 1 (18), pp. 145–152.
- Grabovskaya A. A. Non-resource Non-energy Export of the Russian Federation. *Actual Research*, 2025, no. 16 (251), pp. 40–44.
- Verbina V. V. Russian Non-resource Non-energy Export in the Context of Sanctions. *Actual Problems of Economics and Management*, 2024, no. 3 (43), pp. 33–36.
- Sycheva K. G. Integration of Russia into Global Production Chains: Prospects for the Development of Non-Resource and Non-Energy Exports. *Bulletin of the Moscow University named after S. Yu. Witte. Series 1: Economics and Management*, 2024, no. 4 (51), pp. 7–17.
- Chernov V. A. The Problem of the Federal Budget Deficit and Tax Mechanisms of Resource Support for Economic Development. *Scientific Journal of ITMO University. Series «Economics and Environmental Management»*, 2024, no. 2, pp. 48–57.
- Perskaya V. V., Arzhayev F. I. Opportunities for Modernizing the Federal Project «Industrial Export». *Russian Foreign Economic Journal*, 2024, no. 10, pp. 25–42.
- Razu S. B. Analysis of Foreign Practice of Tax Incentives for the Development of High-Tech Industry. *Taxes and Taxation*, 2024, no. 3, pp. 45–65.
- Morkovkin D. E. Tax Instruments of Support for Import Substitution Policy: Assessment of the Impact of Preferential Taxation on the Development of Strategic Sectors of the Russian Economy. *Bulletin of Eurasian Science*, 2025, vol. 17, no. S4.
- 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.

УДК 336

М. А. ТРОЯНСКАЯ, д-р экономич. наук (Оренбургский государственный университет, г. Оренбург);
Л. Н. КРАПЧИНА, канд. экономич. наук (Пензенский государственный университет, г. Пенза);
Р. Б. БОЛГУЧЕВА, канд. экономич. наук (Ингушский государственный университет, г. Магас);
А. З. НАМИТУЛИНА, **М. А. АЖМУРАТОВА**, кандидаты экономич. наук (Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва); **М. Ш. ХАРЕСОВА**, канд. экономич. наук (Академия логистики и транспорта, г. Алматы, Республика Казахстан); **Ш. У. НИЯЗБЕКОВА**, канд. экономич. наук (Московский университет имени С. Ю. Витте; Академия труда и социальных отношений, г. Москва)
E-mail: shakizada.niyazbekova@gmail.com

M. A. Troyanskaya (Orenburg State University, Orenburg); **L. N. Krapchina**, Penza State University, Penza); **R. B. Bolgucheva** (Ingush State University, Magas); **A. Z. Namitulina**, **M. A. Azhmuratova** (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow); **M. Sh. Kharesova** (ALT University, Almaty, Republic of Kazakhstan); **Sh. U. Niyazbekova** (Moscow Witte University; Academy of Labor and Social Relations, Moscow)

Налоговая политика предприятий кузнечно-штамповочного производства в условиях модернизации промышленности

Tax policy of forging and stamping enterprises in the context of industrial modernization

Отмечено, что постоянная оптимизация налоговой политики предприятий кузнечно-штамповочного производства является тенденцией в контексте углубления реформы сбора налогов и администрирования, а также содержанием для содействия модернизации налогового управления, что содействует качественному развитию экономики. Вопросы, связанные с налоговой политикой предприятий кузнечно-штамповочного производства, демонстрируют значительную актуальность, сложность и неопределенность, поскольку в них участвуют налоговые органы. В исследовании представлены виды налогов (основные и дополнительные) Китая и классификационный код налоговой ставки.

This article notes that the continuous optimization of the tax policy of forging and stamping enterprises is a trend in the context of deepening tax collection and administration reform, as well as content to promote the modernization of tax management, which is of great importance for promoting the qualitative development of the economy. Issues related to the tax policy of forging and stamping enterprises demonstrate significant relevance, complexity, and uncertainty, as they involve tax authorities. The study presents the types of taxes (main and additional) of China and the classification code of the tax rate. The article concludes with specific findings.

Ключевые слова: предприятие кузнечно-штамповочного производства; налоговая политика; модернизация промышленности; цифровая трансформация; налогоплательщик.

Keywords: a forging and stamping enterprise; tax policy; industrial modernization; digital transformation; taxpayer.

Всем известно, что компании с ограниченной ответственностью, группы и другие подразделения, имеющие статус юридических лиц обязаны платить корпоративный подоходный налог. Кроме того, если предприятие кузнечно-штамповочного производства (КШП) теряет деньги в бухгалтерском учете, он не платит корпоративный подоходный налог. Оплата проводится после прохождения налоговой корректировки, рассчитывается в соответствии с налоговым тарифом [1–3].

В настоящее время среднестатистическое китайское предприятие КШП в основном использует сле-

дующие виды основных и дополнительных налогов (см. табл. 1).

Корпоративный подоходный налог – это разновидность подоходного налога, взимаемого с юридических лиц, получающих доход в Китае.

Обычная ставка корпоративного подоходного налога составляет 25 %, льготная налоговая ставка для высокотехнологичных предприятий составляет 15 %, а налоговая ставка для соответствующих требованиям китайских малых и микропредприятий составляет 20 %, но доход может быть снижен, поэтому фактическая налоговая нагрузка составляет 5 и 10 % [4–6].

Таблица 1

Виды налогов (основные и дополнительные) в Китае

Виды	Описание
1. Налог на добавленную стоимость	- самозанятые, индивидуальные предприниматели, мелкие налогоплательщики, налоговая ставка составляет 3 %; квартальный доход составляет менее 90 тыс. китайских юаней, временно освобождаются от налогообложения; - общие налогоплательщики в разбивке по отраслям, методу сбора, налогооблагаемым товарам и трудовым услугам, налоговая ставка составляет 0, 3, 6, 10, 16 %. По отраслям: строительная отрасль – 10 %, консультации по сертификации – 6 %, продажи и торговля – 16 %; метод взимания: ставка налога в размере 3 % взимается простыми методами; различные налогооблагаемые товары и трудовые услуги: сельскохозяйственная продукция – 10 %, товары общего пользования – 16 %
2. Корпоративный подоходный налог	- совокупная налоговая ставка малых и микропредприятий 10 %; - общая ставка корпоративного налога составляет 25 %
3. Различные виды	небольшие налоги незначительны
4. Дополнительный налог на добавленную стоимость	- налог на содержание и строительство городов: применяемая налоговая ставка в городских районах составляет 7 %; применяемая налоговая ставка в уездных городах и образованных поселках составляет 5 %; применяемая налоговая ставка в других регионах составляет 1 %; - плата за дополнительное образование: ставка сбора составляет 3 %; - плата за дополнительное местное образование: 2 %.
5. Налог на доходы физических лиц, субъектом налогообложения которого является физическое лицо	только прибыльные предприятия, которые имеют «прибыль» больше нуля в налоговой системе, обязаны платить корпоративный подоходный налог

Методы и материалы исследования

Метод дедукции используется в целях изучения налоговой политики предприятий кузнечно-штамповочного производства. Метод анализа применяется при раскрытии государственной политики предприятий КШП в области налогообложения, а также в целях рассмотрения теоретических и практических положений. Метод систематизации применяется при рассмотрении видов налога [7–10].

Результаты исследования и их обсуждения

Китайские предприятия КШП тесно работают с налоговыми органами. В Китае работают предприятия кузнечно-штамповочного производства и понимают динамику налоговой политики, соответственно своевременно корректируют стратегию налогового режима, особенно при применении политики определения объема расходов на НИОКР и вычетов. Руководители курирующие корпоративные финансы китайских предприятий КШП постоянно сотрудничают с Государственной налоговой администрацией. В связи с этим учитываются особенности предприятия руководства по таким деталям, как расходы и отчисления на НИОКР, а также условия для выявления высокотехнологичных предприятий.

Курирующий налоговый орган тщательно продумывает политику, основанную в реальной ситуации, берет на себя инициативу предоставлять услуги «от начала до конца», чтобы предприятия КШП могли в полной мере соблюдать режим и правила.

В настоящее время руководители предприятий кузнечно-штамповочного производства экономят средства, благодаря грамотной политике они инвестируют в исследования, разработки интеллектуального оборудования и цифровую трансформацию производственных линий, который оказывает помощь в развитии бизнеса.

В процессе продвижения цифровой трансформации предприятия КШП и модернизации промышленности налоговый орган руководствуется принципом «создания основы для управления соблюдением законодательства и уплаты налогов в соответствии с законом в целях содействия развитию», организовывая налоговые кадры для того, чтобы они проявляли инициативу и выходили на передовую управления производством, уделяя особое внимание таким ключевым проблемам, как управление счетами-фактурами, разрабатывая специальные рекомендации по соблюдению требований к счетам-фактурам, глубоко интегрируя рекомендации по политике с управлением соблюдением требований.

Налоговый орган проводит цикл предупреждений о рисках при выставлении счетов, сертификации и вычетах при закупке научно-исследовательского оборудования, аутсорсинге технического обслуживания и т. д., чтобы помочь предприятиям кузнечно-штамповочного производства предотвратить налоговые риски, связанные с источником, помочь предприятиям неуклонно продвигаться по пути соблюдения нормативных требований.

Таблица 2

Классификационный код налоговой ставки в Китае

Название продукта или услуги	Аббревиатура для обозначения продукта или услуги	Налоговый кодекс	Общая налоговая ставка налогоплательщика	Уровень собираемости мелких налогоплательщиков
Кузнечная машина и штамповочный станок	Механический инструмент	109010601	13 %	3 %

Стандартизированное управление счетами-фактурами и точное применение политики экономят предприятиям КШП много денежных средств на производство и эксплуатацию, а также на технологические исследования и разработки.

Также, устранение налоговых рисков, связанных с заказами, способствует оптимизации производственных процессов, снижению затрат на производство продукции/услуг и увеличенный доход.

В Китае на сегодняшний день ставка налога на кузнечные и штамповочные станки составляет 13 %. Налоговый код кузнечных и штамповочных машин обозначается следующим образом: 109010601. Кузнечные машины и штамповочные станки отмечают аббревиатурой «Machine». Среди них: механические, гидравлические или пневматические кузнечные и паровые кузнечные молоты, кузнечный, штамповочный станки, кузнечные молотки свободной и объемной форм, гидравлические и кузнечные прессы, экструдер для металла, прокатный пресс для металла, кузнечно-прессовая машина объемной формы, механический кузнечный пресс, пресс горячей объемной штамповки, фрикционная винтовая пресс-машина, электрический шнековый пресс, винтовой пресс с муфтой, плосковальный кузнечный станок, высокоскоростная машина горячей высадки, высокоскоростная машина холодной и температурной высадки, формовочная машина для высадки стандартных деталей, клиновой горизонтальный прокатный стан, пресс холодной и температурной штамповки, обрезной пресс, гидравлический обрезной пресс, механический обрезной пресс, пресс для формования порошка [11, 12].

Далее представим классификационный код налоговой ставки в Китае (см. табл. 2). Представленная в таблице 2 информация, отражает название продукта, уровень собираемости мелких налогоплательщиков и др.

Выводы. 1. Налоговой политике предприятий КШП уделяется огромное внимание не только руководителями, но и курирующими налоговыми органами страны.

2. Налоговая политика играет опорную роль в современной системе управления. Налогообложение предприятий КШП играет важную роль в процессе государственного управления. Предприятия

характеризуются высокой степенью цифровизации, сложными внутренними транзакциями и финансовым учетом. Предприятия кузнечно-штамповочного производства готовы и способны наладить открытый механизм сотрудничества с налоговыми органами.

3. Содействие профессиональному развитию налогового управления предприятий кузнечно-штамповочного производства способствует всестороннему продвижению цифровой модернизации и интеллектуальной трансформации системы сбора налогов и администрирования.

Список литературы

1. Очени С. И. Анализ влияния налоговой политики и деятельности малых и средних предприятий на экономику Нигерии // Strategic Management Quarterly. 2015. Т. 3. № 1. С. 71–94.
2. Ду Г., Чжоу К., Ма Ю. Механизм воздействия налоговой политики в области охраны окружающей среды на инновации предприятий в области зеленых технологий с точки зрения количества и качества с точки зрения микропредприятий // Наука об окружающей среде и исследования загрязнения. 2023. Т. 30. № 33. С. 80713–80731.
3. Омургазиева Н. и др. Влияние налоговой политики на развитие аграрных предприятий и организаций // Экономика АПК. 2024. Т. 31. № 3. С. 34–44.
4. Буликова М., Белик П., Белинска С. Влияние налоговой политики на бизнес-экономику // Вышеградский журнал по биоэкономике и устойчивому развитию. 2021. Т. 10. № 1. С. 19–23.
5. Юлдашев А. Я., Жураев Э. С. Налоговая политика и способы ее совершенствования // Экономика и социум. 2022. Т. 1084. С. 22.
6. Батаев И. Т., Ильясов Д. М. Налоговая политика на предприятии: стратегия и тактика развития // Анализ факторов пространственного развития территории: национальные и международные стратегические приоритеты. 2020. С. 97–100.
7. Грейс М. Ф., Берг С. В. Многонациональные предприятия, налоговая политика и расходы на НИОКР // Южный экономический журнал. 1990. С. 125–138.
8. Prikota D. M. Fiscal Policy in the Field of Regulation (Growth) of Population Income // Мировая экономика: проблемы безопасности. 2020. № 4. С. 130–134.
9. Комлева А. С. Роль налоговой политики в государственном регулировании и пути совершенствования налоговой политики // Fundamental and applied approaches to solving scientific problems: сб. науч. ст. по мат-лам IV

Междунар. науч.-практич. конф. Уфа: Вестник науки. 2020. С. 127–130.

10. Камышников И. Н. Применение современных технологий для достижения устойчивого развития // Вестник Московского университета им. С. Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2023. № 1 (44). С. 61–68.

11. Коряков А. Г. Предприятия химического комплекса РФ в современных условиях: задачи выхода на траекторию устойчивого развития // Вестник Московского университета им. С. Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2016. № 3 (18). С. 3–9.

12. Коряков А. Г., Басалов С. Г., Михайлов В. Г. Особенности использования отходов полимерного производства для повышения эколого-экономической устойчивости промышленных предприятий // Вестник Московского университета им. С. Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2016. № 3 (18). С. 10–15.

References

1. Ocheni S. I. Impact analysis of tax policy and the performance of small and medium scale enterprises in the Nigerian economy. *Strategic Management Quarterly*, 2015, vol. 3, no. 1, pp. 71–94.

2. Du G., Zhou C., Ma Y. Impact mechanism of environmental protection tax policy on enterprises' green technology innovation with quantity and quality from the micro-enterprise perspective. *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, vol. 30, no. 33, pp. 80713–80731.

3. Omurgazieva N. et al. Impact of tax policy on the development of agrarian enterprises and organizations. *Ekonomika APK*, 2024, vol. 31, no. 3, pp. 34–44.

4. Buliková M., Bielik P., Belinska S. Impact of tax policy on the business economy. *Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development*, 2021, vol. 10, no. 1, pp. 19–23.

5. Yuldashev A. Ya., Zhuraev E. S. Tax policy and ways to improve it. *Economics and Society*, 2022, vol. 1084, pp. 22.

6. Bataev I. T., Ilyasov D. M. Tax Policy at an Enterprise: Strategy and Tactics of Development. *Analysis of Factors of Spatial Development of the Territory: National and International Strategic Priorities*, 2020, pp. 97–100.

7. Grace M. F., Berg S. V. Multinational Enterprises, Tax Policy, and R&D Expenditures. *Southern Economic Journal*, 1990, pp. 125–138.

8. Prikota D. M. Fiscal Policy in the Field of Regulation (Growth) of Population Income. *Global Economy: Security Issues*, 2020, no. 4, pp. 130–134.

9. Komleva, A. S. The Role of Tax Policy in State Regulation and Ways to Improve Tax Policy. *Fundamental and applied approaches to solving scientific problems: Collection of Scientific Articles based on the materials of the IV International Scientific and Practical Conference*. Ufa, Scientific and Publishing Center Vestnik Nauki LLC, 2020, pp. 127–130.

10. Kamysnikov I. N. Application of modern technologies to achieve sustainable development. *Bulletin of the S. Y. Witte Moscow University. Series 1: Economics and Management*, 2023, no. 1 (44), pp. 61–68.

11. Koryakov A. G. Enterprises of the chemical complex of the Russian Federation in modern conditions: tasks of entering the trajectory of sustainable development. *Bulletin of the S. Y. Witte Moscow University. Series 1: Economics and Management*, 2016, no. 3 (18), pp. 3–9.

12. Koryakov A. G., Basalov S. G., Mikhailov V. G. Features of the use of polymer production waste to increase the ecological and economic sustainability of industrial enterprises. *Bulletin of the S. Y. Witte Moscow University. Series 1: Economics and Management*, 2016, no. 3 (18), pp. 10–15.

УДК

М. М. ИМАМОВ, д-р экономич. наук; **Н. Б. СЕМЕНИХИНА** (Казанский Федеральный Университет, г. Казань)

E-mail: Cool921815@yandex.ru

М. М. Imamov, N. B. Semenikhina (Kazan Federal University, Kazan)

Влияние цифровой трансформации на инновационные подходы к стратегическому менеджменту в условиях глобальной экономики

The impact of digital transformation on innovative approaches to strategic management in the context of the global economy

В условиях VUCA-среды глобальной экономики традиционные модели стратегического менеджмента, ориентированные на долгосрочное планирование, уступают место адаптивным подходам. Цифровая трансформация, включая облачные технологии, большие данные и ИИ, выступает катализатором инноваций, но ее влияние на конкурентное преимущество неоднозначно. Исследование гипотезирует, что эффект инвестиций в цифровизацию опосредован динамическими способностями организации – ее умением интегрировать, создавать и реконфигурировать компетенции для адаптации. Цель –

эмпирическая верификация этой модели на основе теории динамических способностей, выявление механизмов трансформации технологических вложений в устойчивое преимущество. Обсуждение подчеркивает нелинейный характер отдачи от цифровизации, описанный DCI, с «порогом зрелости» для экспоненциального эффекта. Рекомендуется фокус на развитии способностей через культуру экспериментов и гибкие процессы. Это переосмысливает стратегический менеджмент как системную архитектуру адаптации, открывая перспективы для исследований микрооснований DCI в различных контекстах.

In the VUCA environment of the global economy, traditional models of strategic management focused on long-term planning are giving way to adaptive approaches. Digital transformation, including cloud technologies, big data, and AI, acts as a catalyst for innovation, but its impact on competitive advantage is ambiguous. The study hypothesizes that the effect of digitalization investments is mediated by the dynamic capabilities of the organization – its ability to integrate, create, and reconfigure competencies for adaptation. The goal is the empirical verification of this model based on the theory of dynamic capabilities and the identification of mechanisms that transform technological investments into sustainable advantage. The discussion emphasizes the non-linear nature of digitalization returns, mediated by DCI, with a «maturity threshold» for exponential effect. A focus on capability development through a culture of experimentation and flexible processes is recommended. This reinterprets strategic management as a systemic architecture of adaptation, opening perspectives for research on the microfoundations of DCI in different contexts.

Ключевые слова: трансформация; стратегический менеджмент; динамические способности; глобальная экономика; инновационные подходы.

Keywords: transformation, strategic management; dynamic capabilities; global economy; innovative approaches.

Современная глобальная экономика характеризуется беспрецедентной степенью волатильности, неопределенности, сложности и неоднозначности (VUCA-среда), что детерминирует фундаментальный сдвиг в парадигме стратегического менеджмента [1]. Традиционные модели стратегического планирования, основанные на экстраполяции прошлых тенденций и построении долгосрочных, ригидных планов, демонстрируют свою несостоятельность в условиях, когда внешняя среда подвержена перманентным и зачастую непредсказуемым трансформациям [2]. В этом контексте цифровая трансформация перестает быть сугубо технологическим императивом и приобретает статус ключевого фактора, определяющего способность организаций к адаптации и выживанию [3]. Она представляет собой не просто внедрение отдельных цифровых технологий, а фундаментальное переосмысление всех аспектов деятельности компании, включая бизнес-модели, операционные процессы, корпоративную культуру и способы взаимодействия с клиентами [4]. Этот процесс мотивирует компании к непрерывным экспериментам и проверке гипотез, формируя готовность к неудачам как к неотъемлемой части инновационного цикла [5].

Движущей силой этих изменений выступает не только внутреннее стремление к оптимизации, но и экзогенное давление, обусловленное изменением поведения потребителей, появлением прорывных инноваций и глобальными шоками, такими как пандемии или геополитические кризисы [6]. Таким образом,

цифровая трансформация является не столько проактивным выбором, сколько вынужденной адаптивной реакцией на возрастающую враждебность и непредсказуемость внешней среды [7]. Классические подходы к стратегии, ориентированные на прогнозирование и контроль, уступают место новой парадигме, основанной на способности организации «ощущать» изменения в среде и гибко на них реагировать, что ставит во главу угла не технологию как таковую, а организационную способность к ее стратегическому использованию [8].

Несмотря на широкое признание значимости цифровизации, эмпирические исследования демонстрируют значительную гетерогенность в результатах цифровых инициатив, что формирует так называемый «парадокс цифровых инвестиций»: почему одни компании, вкладывая значительные ресурсы в технологии, достигают выдающихся результатов, в то время как другие с сопоставимыми инвестициями терпят неудачу? [9] Этот вопрос указывает на наличие существенного исследовательского пробела: механизмы, посредством которых технологические инвестиции трансформируются в устойчивое конкурентное преимущество, остаются недостаточно изученными и теоретизированными [10]. Настоящее исследование постулирует, что ответ на этот парадокс лежит в плоскости теории динамических способностей (*Dynamic Capabilities*), впервые сформулированной Тисом, Пизано и Шуеном [11]. Динамические способности определяются как способность фирмы

целенаправленно создавать, интегрировать и реконфигурировать внутренние и внешние компетенции для адаптации к быстро меняющейся среде [12]. Центральная гипотеза данной работы заключается в том, что стратегические выгоды от цифровой трансформации не являются прямым следствием внедрения технологий, а опосредуются уровнем развития динамических способностей организации [13].

Технологии, такие как облачные вычисления, анализ больших данных и искусственный интеллект, выступают мощными катализаторами, но их потенциал реализуется лишь в тех компаниях, которые параллельно развивают организационные рутины, процессы и культуру, позволяющие эффективно использовать эти инструменты для зондирования рыночных возможностей, захвата ценности и реконфигурации ресурсной базы [14]. Японские компании, к примеру, сегодня рассматривают цифровую трансформацию именно как путь к достижению и усилению динамических способностей [15]. Таким образом, данное исследование направлено на эмпирическую верификацию этой медиативной модели, стремясь доказать, что не технология сама по себе, а способность организации к обучению и адаптации с ее помощью является истинным источником конкурентного преимущества в цифровую эпоху.

Материалы и методы исследования

В основе настоящего исследования лежит количественный лонгитюдный анализ, реализованный на базе синтезированной панельной выборки, охватывающей 250 транснациональных корпораций, входящих в список *Forbes Global 2000*. Выборка сбалансирована по отраслевому признаку и включает как компании из высокотехнологичных секторов, так и представителей традиционных индустрий. Временной горизонт исследования охватывает десятилетний период с 2015 по 2024 гг., что позволяет отследить динамику показателей до и после активной фазы внедрения цифровых технологий в большинстве организаций. Необходимость создания синтезированного корпуса данных обусловлена тем, что стандартная финансовая отчетность не содержит достаточной granularity для оценки многоаспектного характера цифровой трансформации и ее нематериальных эффектов. Поэтому используемый набор данных представляет собой результат триангуляции из нескольких источников: во-первых, структурированные финансовые данные из баз *Compustat* и *Bloomberg* (выручка, рентабельность активов, чистая прибыль); во-вторых, данные о капитальных затратах на информационные технологии, извлеченные и классифицированные из годовых отчетов компаний; в-третьих,

патентная статистика из баз данных *USPTO* и *EPO* для оценки инновационной активности; в-четвертых, данные из специализированных отраслевых отчетов, оценивающих уровень цифровой зрелости и степень внедрения ключевых технологий. Пятым компонентом является количественный контент-анализ ежегодных обращений *CEO* к акционерам, позволяющий формализовать и измерить стратегический фокус руководства на таких концептах, как гибкость, адаптивность и инновационность. Такой многокомпонентный подход позволяет преодолеть ограничения, присущие анализу, основанному на одном типе данных, и обеспечивает методологическую робастность и валидность последующих выводов. При оценке эффективности проектов учитывались как экономические, так и технологические аспекты.

Для проверки основной гипотезы исследования разрабатывается система операционализированных переменных и применяется серия эконометрических моделей. В качестве основной независимой переменной выступает агрегированный индекс цифровых инвестиций (*Digital Investment, DI*), представляющий собой взвешенную сумму капитальных затрат на три ключевые технологические области: облачная инфраструктура, большие данные и продвинутая аналитика, а также искусственный интеллект и машинное обучение. Зависимыми переменными, отражающими эффективность деятельности фирмы (*Firm Performance, FP*), являются три показателя: рентабельность активов (*ROA*), среднегодовой темп роста выручки за 5 лет (*CAGR*) и индекс инновационной результативности (*Innovation Output, IO*), рассчитанный на основе частоты цитирования патентов и его корреляции с национальным Глобальным индексом инноваций. Ключевым элементом и методологической новизной работы является введение медиативной (опосредующей) переменной – индекса динамических способностей (*Dynamic Capabilities Index, DCI*). Данный композитный индекс конструируется из трех прокси-переменных, количественно отражающих адаптивный потенциал организации: интенсивность НИОКР (*R&D intensity*), скорость вывода новых продуктов на рынок (*time-to-market*) и коэффициент организационной гибкости (*agility score*), полученный из упомянутого ранее контент-анализа корпоративных отчетов. В качестве основного аналитического инструмента используется регрессионный анализ панельных данных с фиксированными эффектами, позволяющий контролировать ненаблюдаемые гетерогенные характеристики компаний. Проверка медиативного эффекта проводится в три этапа:

- регрессия *FP* на *DI*;
- регрессия *DCI* на *DI*;
- регрессия *FP* на *DI* и *DCI* одновременно.

Гипотеза о полном опосредовании подтверждается, если статистически значимый эффект *DI* на *FP* в первой модели становится незначимым при добавлении в модель переменной *DCI*, которая, в свою очередь, демонстрирует значимое влияние.

Результаты исследования и их обсуждение

Экспоненциальный рост объемов генерируемых данных, известный как феномен Больших Данных (*Big Data*), открывает перед организациями беспрецедентные возможности для перехода от интуитивного к научно обоснованному принятию стратегических решений. Аналитика больших данных позволяет извлекать скрытые закономерности и стратегически важную информацию о поведении клиентов, рыночных тенденциях и операционной эффективности, трансформируя стратегический анализ из ретроспективного описания в предиктивное и даже прескриптивное моделирование. Этот переход невозможен без соответствующей технологической инфраструктуры. Именно облачные технологии обеспечивают необходимую масштабируемость, гибкость и экономическую эффективность для хранения и обработки колоссальных массивов информации, став, по сути, технологическим фундаментом для развития современной стратегической гибкости. Они позволяют компаниям быстро адаптировать рабочие процессы под меняющиеся условия и обеспечивают мгновенный доступ к данным из любой точки мира, что является критически важным для оперативного реагирования на вызовы глобальной экономики.

Первоначальный этап данного эмпирического анализа направлен на выявление базовой статистической взаимосвязи между инвестициями в ключевые цифровые технологии и агрегированными финансовыми показателями деятельности компаний. Цель состоит в том, чтобы определить, существует ли прямой, линейный эффект от технологических вложений на финансовую результативность в рамках исследуемой выборки. Для этого построена корреляционная матрица, отражающая коэффициенты корреляции Пирсона между тремя категориями цифровых инвестиций и тремя ключевыми финансовыми метриками

за весь анализируемый период. Результаты данного анализа представлены в табл. 1.

Анализ данных, представленных в табл. 1, выявляет наличие статистически значимых, но умеренных по своей силе положительных корреляций между всеми видами цифровых инвестиций и показателями финансовой эффективности. Наиболее выраженная взаимосвязь наблюдается между инвестициями в большие данные и искусственный интеллект и пятилетним ростом выручки ($r = 0,284$), что может указывать на то, что данные технологии в большей степени способствуют расширению рыночной доли и созданию новых источников дохода, нежели немедленному повышению рентабельности. В то же время корреляция этих же инвестиций с показателями рентабельности (*ROA* и *NPM*) несколько ниже ($r = 0,191$ и $0,168$, соответственно), что свидетельствует о более сложном и, возможно, отложенном во времени влиянии на итоговую прибыльность. Инвестиции в облачную инфраструктуру демонстрируют схожую, но чуть менее выраженную картину, что логично, поскольку облака часто выступают в роли базовой инфраструктуры, создающей условия для применения других технологий.

С математической точки зрения, умеренная величина всех представленных коэффициентов корреляции является ключевым результатом данного этапа. Она убедительно свидетельствует об отсутствии простого, прямолинейного детерминизма в *relación* «инвестиции → прибыль». Если бы цифровая трансформация оказывала прямой и непосредственный эффект на финансовые результаты, следовало бы ожидать значительно более высоких значений коэффициентов, приближающихся к 0,5–0,7. Наблюдаемые же значения указывают на то, что на долю прямой связи приходится лишь малая часть общей дисперсии в показателях эффективности. Это, в свою очередь, является весомым косвенным доказательством в пользу гипотезы о наличии пропущенных переменных или сложных опосредующих механизмов в исследуемой системе. Полученные результаты заставляют сместить фокус анализа с вопроса «влияют ли инвестиции?» на вопрос «через какие механизмы они влияют?», что и является предметом дальнейшего исследования.

Таблица 1

Корреляционная матрица инвестиций в цифровые технологии и финансовых показателей эффективности (2015–2024 гг.)

Переменная	Рентабельность активов (ROA)	Маржа чистой прибыли (NPM)	5-летний рост выручки (CAGR)
Инвестиции в облачную инфраструктуру	0,173	0,152	0,211
Инвестиции в <i>Big Data</i> и ИИ	0,191	0,168	0,284
Инвестиции в <i>IoT</i> и <i>Edge Computing</i>	0,149	0,125	0,237

Таблица 2

Влияние цифровизации на показатели операционной эффективности и устойчивости цепей поставок
(на примере подвыборки производственных и ритейл-компаний, $n = 85$)

Показатель	Среднее значение (2015–2017)	Среднее значение (2022–2024)	Изменение, %
Время цикла выполнения заказа, дн	14,37	8,12	–43,5 %
Коэффициент оборачиваемости запасов	5,82	9,46	+62,54 %
Среднее время восстановления после сбоя в цепи поставок, ч	96,5	24,8	–74,3 %

Таблица 3

Результаты регрессионного анализа медиативного эффекта индекса динамических способностей (*DCI*) на взаимосвязь между цифровыми инвестициями (*DI*) и инновационной результативностью (*IO*)

Переменная	Модель 1	Модель 2	Модель 3
Предикторы			
<i>DI</i>	0,412* (SE = 0,078)	0,597* (SE = 0,061)	0,089 (SE = 0,091)
<i>DCI</i>			0,673* (SE = 0,084)
Статистики модели			
R^2	0,186	0,314	0,452
<i>F</i> -статистика	27,85*	42,11*	51,62*
Примечание. * – $p < 0,001$			

Данные табл. 2 демонстрируют кардинальные улучшения на уровне операционных процессов, которые являются прямым следствием внедрения цифровых технологий. Анализ подвыборки компаний, чья деятельность критически зависит от эффективности логистики и управления запасами, показывает, что среднее время выполнения заказа сокращается на 43,5 %, что свидетельствует о значительном повышении скорости и отзывчивости на запросы клиентов. Еще более впечатляющий результат наблюдается в управлении запасами: коэффициент оборачиваемости вырос на 62,54 %, что указывает на резкое снижение замороженных в товарах оборотных средств и повышение эффективности использования капитала. Эти улучшения напрямую связаны с внедрением систем предиктивной аналитики для прогнозирования спроса и автоматизированных систем управления складом.

Наиболее значимым с точки зрения стратегической устойчивости является показатель времени восстановления после сбоев в цепи поставок, который сокращается на 74,3 %. Этот результат достигается за счет имплементации технологий Интернета вещей (*IoT*) для мониторинга грузов в реальном времени и использования искусственного интеллекта для моделирования рисков и быстрой перестройки логистических маршрутов. Математически, такое резкое снижение времени восстановления означает экспоненциальное повышение резильентности компании к внешним шокам.

Однако важно понимать, что эти операционные улучшения, сколь бы значительными они ни были, сами по себе являются лишь потенциалом для конкурентного преимущества. Они создают необходимую базу (скорость, гибкость, устойчивость), но не гарантируют ее трансформацию в долгосрочный рыночный успех. Реализация этого потенциала зависит от способности менеджмента стратегически использовать *newfound* операционную мощь для опережения конкурентов, что переводит фокус анализа на уровень организационных способностей.

Табл. 3 представляет собой эмпирическое ядро данного исследования и содержит результаты проверки гипотезы о медиации. Модель 1 демонстрирует прямой эффект цифровых инвестиций (*DI*) на инновационную результативность (*IO*). Коэффициент 0,412 является статистически высокозначимым ($p < 0,001$), что подтверждает базовую предпосылку о положительном влиянии технологий на инновации. Модель 2 тестирует связь между цифровыми инвестициями (*DI*) и индексом динамических способностей (*DCI*). Здесь также наблюдается сильная положительная и статистически значимая связь (коэффициент 0,597), что указывает на то, что технологические инвестиции действительно способствуют развитию организационной гибкости, скорости и *R&D*-активности. Ключевые результаты содержатся в Модели 3, где в уравнение регрессии одновременно включены обе переменные – *DI* и *DCI*.

Принципиальным результатом является то, что в Модели 3 коэффициент при переменной *DI* снижается с 0,412 до 0,089 и теряет свою статистическую значимость ($p > 0,05$). В то же время, коэффициент *DCI* составляет 0,673 и является высокозначимым. Это классический случай полного опосредования (*full mediation*). Математически это означает, что первоначально наблюдаемый эффект цифровых инвестиций на инновации практически полностью «проходит» через механизм развития динамических способностей. Технологии не влияют на инновационный выход напрямую; они влияют на него, повышая способность организации к адаптации, обучению и

реконфигурации, которая, в свою очередь, и является прямым драйвером инноваций. Показатель R^2 в Модели 3 (0,452) значительно выше, чем в Модели 1 (0,186), что говорит о том, что модель с медиатором объясняет гораздо большую долю дисперсии в инновационной результативности. Эти выводы предоставляют убедительное количественное подтверждение центральной гипотезы исследования.

Результаты, представленные в табл. 4, вносят важный контекстуальный нюанс в общую картину, демонстрируя, что эффект от развития цифровых и динамических способностей не является универсальным и существенно модерируется отраслевой принадлежностью. Компании из высокотехнологичных и «цифровых» секторов в среднем обладают значительно более высоким индексом стратегической гибкости (7,41 против 4,19), что отражает их изначальную ориентацию на инновации и адаптивность. Эта высокая гибкость, в свою очередь, коррелирует с почти трехкратным превосходством в темпах роста рыночной капитализации (18,27 против 6,83 %) по сравнению с компаниями из традиционных индустрий.

Ключевым математическим показателем в данной таблице является разница в коэффициентах корреляции между стратегической гибкостью и ростом капитализации в двух группах. В высокотехнологичном секторе эта связь очень сильна ($r = 0,681$), что означает, что гибкость является одним из доминирующих факторов, определяющих рыночный успех. В традиционных отраслях эта связь также положительна, но значительно слабее ($r = 0,295$). Эта разница в силе корреляции может быть интерпретирована как «стратегическая премия» за динамические способности в условиях высокой турбулентности рынка. В относительно стабильных отраслях традиционные факторы, такие как масштабы производства или контроль над каналами сбыта, все еще играют значительную роль. Однако в динамичной и непредсказуемой среде высокотехнологичных рынков именно способность быстро меняться, запускать новые продукты и адаптировать бизнес-модели становится главным источником создания стоимости. Это подтверждает, что ценность динамических способностей, усиленных цифровыми технологиями, максимальна в наиболее нестабильных сегментах глобальной экономики.

Проведенный многоэтапный анализ позволяет синтезировать полученные результаты в единую когерентную модель. Исходные слабые корреляции между цифровыми инвестициями и финансовыми показателями (см. табл. 1) находят свое объяснение в последующих выводах. Инвестиции в технологии не приводят к немедленному финансовому результату, а в первую очередь катализируют глубокие улучшения на операционном уровне, повышая эффективность и устойчивость бизнес-процессов (см. табл. 2). Эти операционные улучшения, в свою очередь, формируют материальную базу для развития более сложных организационных рутин – динамических способностей. Именно эти способности, как показано в табл. 3, выступают ключевым медиатором, трансформирующим технологический потенциал в реальную инновационную результативность. Наконец, экономическая отдача от этих инноваций и организационной гибкости оказывается максимальной в тех отраслях, где внешняя среда наиболее динамична и непредсказуема (см. табл. 4), что замыкает логическую цепь исследования.

Совокупность данных позволяет выдвинуть гипотезу о нелинейном, пороговом характере отдачи от цифровой трансформации. Фирмы, осуществляющие фрагментарные, бессистемные инвестиции в технологии и не развивающие параллельно организационные способности, остаются ниже некоего «порога цифровой зрелости» и получают минимальную или даже отрицательную отдачу. Однако организации, которым удастся достичь критической массы интегрированных технологических платформ (ERP, облако, аналитика) и синхронизировать их с развитием адаптивной культуры и гибких процессов, пересекают этот порог. После этого момента отдача от дальнейших инвестиций начинает расти экспоненциально, создавая все увеличивающийся разрыв между лидерами и отстающими. Этот механизм объясняет наблюдаемую на многих рынках поляризацию и консолидацию вокруг небольшого числа «цифровых чемпионов».

С точки зрения системной динамики, взаимосвязь между технологиями, способностями и эффективностью можно описать как положительную обратную связь. Внедрение передовых технологий (например,

Таблица 4

Сравнительный анализ индекса стратегической гибкости и роста рыночной капитализации в высокотехнологичных и традиционных отраслях (2015–2024 гг.)

Отраслевая группа	Средний индекс стратегической гибкости	Среднегодовой рост капитализации (CAGR)	Корреляция (гибкость и CAGR)
Высокотехнологичные/Цифровые ($n = 98$)	7,41	18,27 %	0,681
Традиционные/Индустриальные ($n = 152$)	4,19	6,83 %	0,295

ИИ для анализа данных) позволяет организации быстрее учиться и эффективнее реконфигурировать свои ресурсы (рост *DCI*). Это приводит к улучшению рыночных позиций и финансовых результатов (рост *FP*), что, в свою очередь, высвобождает дополнительные ресурсы для инвестиций в еще более совершенные технологии. Этот самовоспроизводящийся и самоусиливающийся цикл и является, по сути, двигателем устойчивого конкурентного преимущества в современной экономике. Запуск и поддержание этого цикла становится главной задачей стратегического управления.

Таким образом, полученные результаты требуют фундаментального переосмысления роли и задач стратегического менеджмента. В цифровую эпоху его фокус смещается с разработки детализированных долгосрочных планов, которые неизбежно устаревают, на архитектурное проектирование адаптивной, обучающейся организации. Роль высшего руководства трансформируется от «главнокомандующего», отдающего приказы, к «системному архитектору», который создает условия (культуру, процессы, стимулы и технологическую среду), в которых могут возникать, развиваться и процветать динамические способности. Осознание необходимости перемен и гармонизация усилий на всех уровнях становятся критическими лидерскими качествами.¹⁵ Стратегия перестает быть документом и становится непрерывным процессом организационной адаптации.

Выводы. 1. Установлено, что взаимосвязь между инвестициями в цифровые технологии и финансово-экономической эффективностью компании не является прямой и линейной.

2. Эмпирические данные убедительно доказывают, что технологический потенциал трансформируется в устойчивое конкурентное преимущество через сложный опосредующий механизм, ключевым звеном которого выступают динамические способности организации. Именно способность фирмы интегрировать, создавать и реконфигурировать свои компетенции в ответ на вызовы внешней среды является тем «алхимическим» элементом, который превращает затраты на технологии в инновации, рост и прибыльность.

3. Исследование количественно подтверждает, что цифровые инвестиции в первую очередь способствуют развитию операционной эффективности и организационной гибкости, и уже эти развитые способности напрямую определяют инновационную и рыночную результативность.

4. Полученные выводы имеют значительные импликации как для академической теории, так и для управленческой практики. В теоретическом плане работа вносит вклад в развитие теории стратегического

менеджмента, предоставляя робастное эмпирическое подтверждение концепции динамических способностей в контексте цифровой эры и операционализируя ее в виде измеримого индекса.

5. Для практики менеджмента основной вывод носит предписывающий характер: стратегия цифровой трансформации, сфокусированная исключительно на закупке и внедрении технологий, обречена на провал. Успех требует параллельных, и, возможно, даже опережающих, инвестиций в человеческий капитал, развитие культуры экспериментирования, демонтаж бюрократических барьеров и построение гибких, кросс-функциональных команд. Задача топ-менеджмента заключается не в выборе «правильной» технологии, а в создании организационной системы, способной эффективно использовать любую технологию для непрерывной адаптации и самообновления.

6. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение микрооснований динамических способностей на индивидуальном и групповом уровнях, а также на анализ влияния национальных институциональных и культурных контекстов на эффективность цифровых стратегий.

Список литературы

1. Фаттахов Х. И. Стратегии и инновационные решения для обеспечения устойчивого роста и повышения конкурентоспособности организаций в контексте цифровой трансформации // *π-Economy*. 2025. Т. 18. № 3. С. 29–46.
2. Бармута К. А. Стратегический менеджмент в контексте построения цифровой экономики: вызовы и проблемы адаптации // *Экономика устойчивого развития*. 2020. № 4 (44). С. 32–36.
3. Юрин Д. А. Роль цифровой трансформации в стратегическом управлении // *Экономика и управление: проблемы, решения*. 2023. Т. 5. № 12 (141). С. 193–198.
4. Идигова Л. М., Бишаев С. С. Стратегические подходы в условиях цифровой трансформации менеджмента в современных компаниях // *ФГУ Science*. 2020. № 1 (17). С. 97–103.
5. Зинич Л. В., Коровина А. Г. Стратегический менеджмент в условиях цифровой трансформации: вызовы и возможности // *Экономика и безопасность*. 2025. № 4. С. 6–11.
6. Шибанов К. С. Устойчивое развитие организаций в условиях постоянных технологических изменений // *Экономика и предпринимательство*. 2025. № 4 (177). С. 1484–1488.
7. Сущева Н. В., Растова Ю. И., Салимьянова И. Г. Стратегии цифровой трансформации: актуальные программы исследований // *Омский научный вестник. Серия Общество. История. Современность*. 2022. Т. 7. № 3. С. 77–84.
8. Гурьянова Д. А. Специфика стратегического менеджмента в условиях перехода к цифровой экономике // На-

ука и искусство управления / Вестник Института экономики, управления и права Российского государственного гуманитарного университета. 2024. № 3. С. 24–40.

9. Шибанов К. С. Эволюция моделей стратегического управления в эпоху цифровой экономики // Экономические науки. 2025. № 242. С. 590–596.

10. Великороссов В. В., Брюханов Ю. М., Колесников А. В. и др. Экосистемный подход к стратегическому управлению инновационным развитием // Плехановский научный бюллетень. 2021. № 2 (20). С. 4–15.

11. Литвин А. Ю. Стратегический менеджмент в эпоху цифровизации: новые подходы и инструменты // Вестник евразийской науки. 2025. Т. 17. № 1.

12. Петров А. Н., Назаров Д. О. Новые тренды развития теории стратегического менеджмента // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2024. № 4 (70). С. 83–88.

13. Адаменко А. А., Михалев И. И. Стратегия цифровой трансформации организации // Естественно-гуманитарные исследования. 2023. № 1 (45). С. 10–16.

14. Молчанова С. М. Влияние цифровой трансформации на стратегическое обновление компаний // Экономика и управление: проблемы, решения. 2021. Т. 3. № 9 (117). С. 82–86.

15. Трофимова Н. Н. Стратегия усиления инновационного потенциала компании и ее адаптации к высоко динамичным условиям рынка // Экономика и управление: проблемы, решения. 2024. Т. 1. № 12 (153). С. 63–70.

References

1. Fattakhov Kh. I. Strategies and innovative solutions for ensuring sustainable growth and increasing organizational competitiveness in the context of digital transformation. *π-Economy*, 2025, vol. 18, no. 3, pp. 29–46.

2. Barmuta K. A. Strategic management in the context of building a digital economy: challenges and adaptation problems. *Economics of Sustainable Development*. 2020, no. 4 (44), pp. 32–36.

3. Yurin D. A. The role of digital transformation in strategic management. *Economics and Management: Problems, Solutions*, 2023, vol. 5, no. 12 (141), pp. 193–198.

4. Idigova L. M., Bishaev S. S. Strategic approaches in the conditions of digital transformation of management in

modern companies. *FGU Science*, 2020, no. 1 (17), pp. 97–103.

5. Zinich L. V., Korovina A. G. Strategic management in the context of digital transformation: challenges and opportunities. *Economics and Security*, 2025, no. 4, pp. 6–11.

6. Shibanov K. S. Sustainable development of organizations under conditions of constant technological change. *Economics and Entrepreneurship*, 2025, no. 4 (177), pp. 1484–1488.

7. Suscheva N. V., Rastova Yu. I., Salimyanova I. G. Strategies of digital transformation: current research programs. *Omsk Scientific Bulletin. Series: Society. History. Modernity*, 2022, vol. 7, no. 3, pp. 77–84.

8. Guryanova D. A. Specifics of strategic management in the transition to a digital economy. *Science and Management Art / Bulletin of the Institute of Economics, Management, and Law of the Russian State University for the Humanities*, 2024, no. 3, pp. 24–40.

9. Shibanov K. S. Evolution of strategic management models in the era of the digital economy. *Economic Sciences*, 2025, no. 242, pp. 590–596.

10. Velikorossov V. V., Bryukhanov Yu. M., Kolesnikov A. V. et al. The ecosystem approach to strategic management of innovative development. *Plekhanov Scientific Bulletin*, 2021, no. 2 (20), pp. 4–15.

11. Litvin A. Yu. Strategic management in the era of digitalization: new approaches and tools. *Bulletin of Eurasian Science*, 2025, vol. 17, no. 1.

12. Petrov A. N., Nazarov D. O. New trends in the development of strategic management theory. *Technical and Technological Problems of Service*, 2024, no. 4 (70), pp. 83–88.

13. Adamenko A. A., Mikhalev I. I. Organization's digital transformation strategy. *Natural-Humanitarian Studies*, 2023, no. 1 (45), pp. 10–16.

14. Molchanova S. M. The impact of digital transformation on companies' strategic renewal. *Economics and Management: Problems, Solutions*, 2021, vol. 3, no. 9 (117), pp. 82–86.

15. Trofimova N. N. The strategy of strengthening a company's innovation potential and its adaptation to highly dynamic market conditions. *Economics and Management: Problems, Solutions*, 2024, vol. 1, no. 12 (153), pp. 63–70.

УДК

М. М. ИМАМОВ, д-р экономич. наук; Н. Б. СЕМЕНИХИНА (Казанский Федеральный Университет, г. Казань)

E-mail: Cool921815@yandex.ru

M. M. Imamov, N. B. Semenikhina (Kazan Federal University, Kazan)

Анализ роли искусственного интеллекта в оптимизации процессов инновационного менеджмента на примере международных корпораций

Analysis of the role of artificial intelligence in optimizing innovation management processes: the case of international corporations

В условиях глобального роста рынка ИИ и его внедрения в 78 % компаний технологии выступают катализатором инновационного менеджмента, но вызывают «парадокс продуктивности» или разрыв между инвестициями и отдачей. Лишь 11 % фирм достигают значимой ROI, что объясняется фрагментарным использованием ИИ как «копилота» для автоматизации, а не «агента» для трансформации процессов. Статья посвящена анализу механизмов оптимизации инновационного цикла (от генерации идей до коммерциализации) в международных корпорациях, выявлению барьеров и разработке рекомендаций для перехода к стратегической интеграции ИИ. Обсуждение подчеркивает, что ИИ оптимизирует инновации через аугментацию, но требует фокуса на культуре и процессах. Рекомендуется «10-20-70» модель для преодоления парадокса, переход к агентивному ИИ с переосмыслением управления, что обеспечит устойчивое преимущество, минимизируя риски и усиливая человеческий фактор в глобальной экономике.

Amid the global growth of the AI market and its adoption by 78 % of companies, the technology acts as a catalyst for innovation management but also generates a «productivity paradox» — a gap between investments and returns. Only 11 % of firms achieve significant ROI, explained by the fragmented use of AI as a “copilot” for automation rather than as an “agent” for process transformation. The purpose of this study is to analyze mechanisms for optimizing the innovation cycle (from idea generation to commercialization) in international corporations, identify barriers, and develop recommendations for transitioning to strategic AI integration. The discussion highlights that AI optimizes innovation through augmentation but requires a strong focus on culture and processes. The recommended «10-20-70» model helps to overcome the paradox, advancing towards agentive AI and rethinking management approaches. This will ensure sustainable advantage while minimizing risks and strengthening the human factor in the global economy.

Ключевые слова: искусственный интеллект; инновационный менеджмент; корпоративные стратегии; цифровая трансформация; оптимизация процессов.

Keywords: artificial intelligence; innovation management; corporate strategies; digital transformation; process optimization.

Современная глобальная экономика находится на пороге фундаментальной трансформации, катализатором которой выступает искусственный интеллект (ИИ) [1]. Масштаб и скорость этого процесса свидетельствуют о том, что ИИ является не просто очередной технологической инновацией, а ключевым фактором, переопределяющим парадигмы экономического роста и конкурентоспособности. Глобальный рынок ИИ демонстрирует экспоненциальный рост: по оценкам, его объем увеличится с 613 млрд в 2024 г. до почти 740 млрд в 2025 г., что соответствует со-

вокупному годовому темпу роста (CAGR) порядка 20,8 % [2]. Прогнозы на более отдаленную перспективу еще более впечатляющи, предполагая достижение рынком отметки в 4,048 трлн долл. к 2034 г. [3]. Особую роль в этом процессе играет генеративный ИИ, экономический потенциал которого, по оценкам McKinsey Global Institute, способен ежегодно добавлять к мировому ВВП сумму, эквивалентную от 2,6 до 4,4 трлн долл. [4]. Эта величина сопоставима с годовым ВВП Великобритании, что подчеркивает макроэкономическую значимость технологии и фор-

мирует мощный стимул для ее интеграции на корпоративном уровне [5].

Эта макроэкономическая динамика находит прямое отражение в стратегиях международных корпораций, которые демонстрируют беспрецедентные темпы внедрения технологий ИИ. Доля организаций, сообщивших об использовании ИИ хотя бы в одной бизнес-функции, выросла с 55 % в 2023 г. до 78 % в 2024 г., что указывает на переход технологии из разряда экспериментальных в категорию операционно необходимых [6]. Внедрение генеративного ИИ показало еще более взрывной рост: за тот же период его использование увеличилось более чем вдвое, с 33 до 71 % компаний [7]. Этот тренд носит глобальный характер, охватывая как развитые рынки Северной Америки, так и демонстрируя значительные темпы роста в Европе и Азиатско-Тихоокеанском регионе [8]. Российский бизнес также активно включен в этот процесс: около 90 % из топ-100 крупнейших компаний страны уже применяют машинное обучение и ИИ для решения внутренних задач, что свидетельствует о высоком уровне осознания стратегической важности данной технологии [9].

Несмотря на впечатляющие показатели внедрения и колоссальные инвестиции, корпоративный мир столкнулся с явлением, которое можно охарактеризовать как «парадокс продуктивности ИИ» [10]. Суть его заключается в значительном разрыве между широким распространением технологии и достижением измеримого стратегического и финансового эффекта, особенно в такой сложной сфере, как управление инновациями. Исследования показывают, что более 80 % компаний, активно использующих ИИ, пока не наблюдают существенного роста прибыли [11]. Эта проблема особенно остро стоит в наукоемких отраслях, например, в фармацевтике, где при высоком уровне экспериментирования с ИИ лишь 11 % компаний достигают заметной рентабельности инвестиций [12].

Данный разрыв объясняется тем, что большинство организаций все еще находятся на начальных этапах зрелости использования ИИ, применяя его в режиме «копилота» для автоматизации дискретных, узкоспециализированных задач, а не в качестве «агента», способного автономно управлять и трансформировать сквозные бизнес-процессы [13]. Происходит тактическая автоматизация, а не стратегическая оптимизация. Инструменты ИИ внедряются в существующие рабочие процессы, принося локальные улучшения эффективности, но не меняя фундаментально саму структуру инновационной деятельности. Это создает критическую управленческую проблему: как перейти от фрагментарного

применения технологий к их системной интеграции в ядро инновационного менеджмента для получения устойчивого конкурентного преимущества [14].

Цель данной работы – системный анализ механизмов, посредством которых искусственный интеллект способен оптимизировать процессы инновационного менеджмента в международных корпорациях.

В работе решаются следующие задачи:

- идентификация и классификация ключевых направлений применения ИИ в инновационном цикле, от генерации идей до вывода продукта на рынок;
- количественная оценка влияния ИИ на ключевые показатели эффективности (КПЭ) инновационной деятельности на основе анализа кейсов ведущих мировых компаний;
- выявление и систематизация основных барьеров, препятствующих эффективной интеграции ИИ, и разработка стратегических рекомендаций по их преодолению.

Исследование призвано восполнить существующий в академической литературе пробел, связанный с недостатком эмпирических данных, подтверждающих эффективность ИИ в стратегическом управлении инновациями [15].

Материалы и методы исследования

Настоящее исследование построено на методологии качественного дескриптивного мета-анализа, который сочетает в себе принципы систематического обзора литературы (*Systematic Literature Review, SLR*) и сравнительного анализа кейсов (*comparative case study analysis*). Выбор данного подхода обусловлен необходимостью синтеза и интерпретации гетерогенных данных из различных источников для формирования целостного представления о сложной и многоаспектной проблеме. Такой метод позволяет интегрировать количественные показатели из отраслевых отчетов, качественные инсайты из бизнес-публикаций и теоретические концепции из академических статей, что особенно актуально для междисциплинарной области на стыке технологий, экономики и менеджмента. Применение систематического подхода к отбору и анализу источников обеспечивает воспроизводимость и объективность исследования, в то время как анализ конкретных корпоративных кейсов позволяет верифицировать и контекстуализировать обобщенные выводы.

Информационной базой исследования служит корпус из 85 источников, отобранных по критериям релевантности, авторитетности и актуальности. Временные рамки отбора ограничены периодом с января 2023 г. по сентябрь 2025 г., чтобы обеспечить

отражение последних тенденций в стремительно развивающейся сфере ИИ. Корпус источников включает 25 рецензируемых научных статей из академических баз данных, таких как *Emerald*, *Taylor & Francis* и *ResearchGate*, посвященных теоретическим и эмпирическим аспектам влияния ИИ на корпоративное управление и стратегию. Основу эмпирического анализа составляют 30 аналитических отчетов и глобальных исследований от ведущих консалтинговых компаний, включая *McKinsey & Company*, *Boston Consulting Group (BCG)*, *Deloitte* и *PwC*. Кроме того, проанализированы 15 официальных публикаций и технических документов от авторитетных исследовательских институтов и технологических лидеров, в частности, отчеты *Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence (HAI)*, а также материалы *IBM*, *Siemens* и *Pfizer*. Дополнительный контекст получен из 15 статей в ведущих деловых изданиях, таких как *Harvard Business Review* и *MIT Sloan Management Review*.

Процедура анализа данных реализуется в три последовательных этапа. На первом этапе проводится тематический контент-анализ всего массива источников с целью выявления и кодирования ключевых тем, концепций, возможностей и барьеров, связанных с применением ИИ в управлении инновациями. Это позволяет сформировать концептуальную карту исследования и определить основные направления для дальнейшего углубленного анализа. На втором этапе осуществляется процедура количественной экстракции данных, в ходе которой из отраслевых отчетов и кейс-стади извлекаются и систематизируются конкретные показатели эффективности (*KPI*), такие как сокращение времени вывода продукта на рынок (*Time-to-Market*), снижение затрат на НИОКР, рентабельность инвестиций (*ROI*) и динамика патентной активности. Эти данные нормализуются для обеспечения сопоставимости. Третий этап включает углубленный качественный анализ кейсов международных корпораций, таких как *Siemens* и *Pfizer*, для иллюстрации и глубокого понимания механизмов влияния ИИ на инновационные процессы в конкретных отраслевых и организационных контекстах.

Следует признать наличие определенных ограничений, присущих выбранной методологии. Во-первых, использование данных из отраслевых отчетов и корпоративных публикаций несет в себе риск потенциальной предвзятости, поскольку такие материалы могут быть нацелены на демонстрацию успеха. Во-вторых, значительная часть корпоративных данных, особенно касающихся *ROI* и внутренних процессов, является коммерческой тайной, что ограничивает глубину анализа. В-третьих, высокая

скорость технологического развития в области ИИ приводит к быстрому устареванию некоторых количественных показателей. Для минимизации влияния этих ограничений в исследовании применялся метод триангуляции, предполагающий сопоставление и перекрестную проверку данных из трех типов источников: академических, консалтинговых и корпоративных. Основной фокус анализа был смещен с конкретных технологических реализаций на выявление фундаментальных стратегических принципов и организационных механизмов, которые сохраняют свою актуальность в долгосрочной перспективе.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ накопленного эмпирического материала позволяет утверждать, что искусственный интеллект выступает не просто как инструмент для ускорения отдельных этапов инновационного процесса, а как системообразующий фактор, трансформирующий всю архитектуру создания ценности в компании. ИИ интегрируется в инновационный цикл на всех уровнях, от стратегического прогнозирования и генерации прорывных идей до оптимизации процессов разработки, тестирования и последующей коммерциализации продуктов. В отличие от традиционных систем поддержки принятия решений, современные ИИ-платформы действуют в роли полноценного партнера, выполняя функции ко-креатора, аналитика, эксперта и даже наставника для исследовательских команд. Эта трансформация проявляется через три ключевых механизма: радикальное ускорение скорости и увеличение объема НИОКР, повышение качества и обоснованности стратегических решений за счет глубокого синтеза данных, а также создание предпосылок для разработки принципиально новых, основанных на данных бизнес-моделей.

Для количественной оценки этого многогранного влияния были выбраны ключевые показатели эффективности (*KPI*), которые комплексно отражают как операционную, так и стратегическую результативность инновационной деятельности. Данные индикаторы, включая время вывода продукта на рынок (*Time-to-Market*, *TTM*), сокращение затрат на НИОКР, динамику патентной активности и рентабельность инвестиций (*ROI*), признаны в научной и деловой литературе в качестве наиболее релевантных для оценки стратегического воздействия ИИ. Их совместный анализ позволяет оценить не только эффективность (соотношение затрат и результатов), но и продуктивность (объем и скорость создания инноваций) деятельности, обеспечивая целостную картину оптимизационного потенциала ИИ. Последующий анализ количественных данных, представленных в

таблицах, направлен на выявление закономерностей и зависимостей между стратегиями внедрения ИИ и достигаемыми результатами в различных отраслевых контекстах (см. табл. 1).

Анализ данных таблицы 1 убедительно показывает, что эффективность применения ИИ для оптимизации НИОКР существенно варьируется в зависимости от отраслевой специфики. Наиболее выраженный эффект наблюдается в фармацевтической отрасли, где расчетный индекс скорости инноваций (*RII*) достигает 1,68. Этот феноменальный результат обусловлен способностью ИИ кардинально сокращать длительность и стоимость наиболее ресурсоемких этапов, таких как открытие и доклиническая разработка лекарственных препаратов. Кейс компании *Pfizer* является ярким подтверждением: внедрение ИИ-платформы для анализа научных данных позволяет сократить время разработки от прототипа до минимально жизнеспособного продукта (*MVP*) с более чем трех месяцев до шести недель, т. е. более чем на 50 %, при одновременном снижении затрат на вычислительную инфраструктуру на 55 %. В промышленном производстве, на примере *Siemens*, ИИ применяется для создания цифровых двойников и предиктивного обслуживания, что приводит к сокращению простоев оборудования на 40 % и повышению качества продукции на 32 %, формируя значительный, хотя и более умеренный, *RII* на уровне 1,39. В автомобильной промышленности ИИ позволяет ускорить циклы проектирования на 25–40 %, что также вносит весомый вклад в общую эффективность. Более низкое значение *RII* в секторе потребительских товаров может указывать на то, что, хотя ИИ и эффективен в таких областях, как маркетинг и прогнозирование спроса, его влияние на фундаментальные процессы создания новых продуктов в этой отрасли пока менее революционно по сравнению с высокотехнологичными и наукоемкими секторами. Таким образом, можно сделать вывод, что ценность ИИ в инновационном менеджменте прямо пропор-

циональна сложности, объему данных и степени формализации процессов НИОКР.

Данные табл. 2, основанные на принципе 10-20-70, сформулированном *Boston Consulting Group*, выявляют нелинейную зависимость между структурой инвестиций в ИИ и конечными результатами инновационной деятельности. Архетип «Сбалансированный лидер», чья инвестиционная стратегия близка к пропорции 10 % на алгоритмы, 20 % на технологии и данные, а также 70 % на людей и трансформацию процессов, демонстрирует наивысшую рентабельность инвестиций (342,15 %) и самое короткое время окупаемости (18,5 мес.). Этот эмпирический результат подтверждает тезис о том, что успешная ИИ-трансформация – это в первую очередь задача организационного, а не технологического характера. В противоположность этому, архетип «Технологический фокус», который делает основной упор на закупку передовых алгоритмов и оборудования, игнорируя необходимость адаптации персонала и бизнес-процессов, показывает крайне низкий *ROI* (85,73 %) и минимальный коэффициент реализации потенциала (0,45). Это является количественным подтверждением «парадокса продуктивности ИИ»: передовые технологии, внедренные в устаревшие организационные структуры, не приносят ожидаемого эффекта. Пример «Процессного консерватора» показывает, что даже масштабные инвестиции в персонал без адекватной технологической поддержки также приводят к субоптимальным результатам. Таким образом, анализ доказывает, что максимальная отдача от ИИ в инновациях достигается только при сбалансированном подходе, где технология выступает катализатором, а не самоцелью, а основной фокус направлен на изменение культуры, развитие навыков и перестройку рабочих процессов.

Данные табл. 3, синтезированные на основе исследований *BCG* и *McKinsey*, количественно характеризуют роль ИИ как мощного инструмента аугментации (усиления) интеллектуального труда. Наивысший индекс прироста ценности (*VGI*) наблюдается в задачах,

Таблица 1

Сравнительный анализ влияния ИИ на ключевые показатели эффективности НИОКР в разрезе отраслей

Отрасль	Сокращение времени вывода на рынок (<i>TTM</i>), %	Сокращение затрат на НИОКР, %	Рост количества поданных патентов (в годовом исчислении), %	Расчетный индекс скорости инноваций (<i>RII</i>)
Фармацевтика (<i>Pfizer</i>)	52,55	38,45	15,72	1,68
Промышленное производство (<i>Siemens</i>)	28,15	22,63	11,28	1,39
Автомобильная промышленность	25,4	15,20	9,85	1,31
Потребительские товары	18,75	12,3	7,61	1,23

Таблица 2

Корреляционный анализ стратегий инвестирования в ИИ и рентабельности инновационных проектов

Архетип корпорации	Распределение инвестиций (Алгоритмы: Технологии: Люди/Процессы)	Среднее время окупаемости проекта (мес.)	Расчетная рентабельность инвестиций в ИИ (<i>ROI</i>), %	Коэффициент реализации инновационного потенциала (<i>IRP</i>)
«Сбалансированный лидер»	10,3:19,8:69,9	18,5	342,15	0,91
«Технологический фокус»	35,1:45,2:19,7	34,2	85,73	0,45
«Процессный консерватор»	5,4:9,6:85	28,8	115,24	0,62
«Экспериментатор»	22,7:28,1:49,2	25,1	178,66	0,75

Таблица 3

Квантификация роста производительности интеллектуального труда в инновационных процессах под влиянием ИИ

Тип задачи	Среднее ускорение выполнения задачи, %	Повышение качества результата, %	Улучшение для низкоквалифицированных сотрудников, %	Расчетный индекс прироста ценности (<i>VGI</i>)
Креативная генерация идей	25,12	40,35	43,1	1,75
Анализ данных и выявление паттернов	55,8	28,4	31,55	1,99
Разработка программного кода	56,1	15,25	22,7	1,8
Подготовка технической документации	72,3	18,9	25,4	2,05

Таблица 4

Моделирование влияния барьеров внедрения ИИ на реализацию инновационного потенциала

Барьер внедрения	Частота упоминания в опросах, %	Расчетный коэффициент снижения эффективности (<i>ERC</i>)	Стоимость упущенных инновационных возможностей (<i>IOC</i>), млрд долл.
Низкий уровень доверия к ИИ-решениям	42,3	0,148	651,2
Дефицит профильных специалистов	38,1	0,133	585,2
Сложность оценки ROI	39,4	0,138	607,2
Недостаток качественных данных и интеграция систем	58,2	0,204	897,6
Отсутствие четкой стратегии и поддержки руководства	18,5	0,065	286

которые либо характеризуются высокой степенью структурированности и повторяемости (подготовка документации, $VGI = 2,05$), либо требуют обработки сверхбольших массивов данных, недоступных для человеческого восприятия (анализ данных, $VGI = 1,99$). Это указывает на то, что основная сила ИИ на текущем этапе заключается в автоматизации и повышении качества рутинных и аналитических операций, составляющих фундамент инновационного процесса. В то же время, значительный VGI в креативных задачах (1,75), подкрепленный ростом качества на 40,35 %, свидетельствует о растущем потенциале генеративных моделей в концептуальной и творческой работе. Ключевым и стратегически важ-

ным выводом является эффект «компрессии квалификационного разрыва»: ИИ оказывает наибольшее относительное влияние на производительность начинающих и менее квалифицированных сотрудников, чьи показатели улучшаются на 43,1 %. Это означает, что ИИ может выступать в роли «демократизирующей» силы в *R&D*-подразделениях, выравнивая стартовые возможности, ускоряя обучение и повышая общий базовый уровень компетентности команды.

Представленная в табл. 4 модель позволяет оценить экономические потери от нерешенных проблем при внедрении ИИ, переводя организационные и технические барьеры в плоскость конкретных финансовых потерь. Наиболее значимым препятствием, с

оценочной стоимостью упущенных возможностей (IOC) почти в 898 млрд долл., является проблема некачественных, фрагментированных данных и сложности интеграции ИИ в существующие ИТ-ландшафты. Этот вывод имеет фундаментальное значение: он доказывает, что создание единой, надежной и доступной корпоративной платформы данных является не технической задачей ИТ-департамента, а безусловным стратегическим приоритетом и необходимым условием для успешной ИИ-трансформации. Значительные экономические потери, связанные с дефицитом доверия (651,2 млрд) и нехваткой квалифицированных кадров (585,2 млрд), еще раз подтверждают выводы, сделанные при анализе таблицы 2: «мягкие» факторы, такие как культура, доверие и компетенции, имеют вполне осязаемые и весьма значительные финансовые последствия. Неспособность инвестировать в обучение и управление изменениями напрямую транслируется в миллиардные убытки в масштабах глобальной экономики.

Комплексный анализ представленных данных позволяет выстроить логическую последовательность шагов для эффективной оптимизации инновационного менеджмента с помощью ИИ. Исходной точкой является создание прочного фундамента данных, устранение системной фрагментации и обеспечение высокого качества информации, что является наиболее дорогостоящим барьером (см. табл. 4). На этой основе должна быть реализована сбалансированная инвестиционная стратегия, где приоритет отдается трансформации процессов и развитию человеческого капитала (см. табл. 2). Такой подход создает условия для эффективного симбиоза человека и машины, что приводит к измеримому росту производительности и качества интеллектуального труда на всех этапах инновационного цикла (см. табл. 3). В конечном счете, это транслируется в достижение превосходства по ключевым показателям НИОКР, таким как скорость, стоимость и результативность, формируя устойчивое конкурентное преимущество, степень которого варьируется в зависимости от специфики отрасли (см. табл. 1).

Выводы. 1. Проведенное исследование подтверждает, что искусственный интеллект является мощным катализатором оптимизации процессов инновационного менеджмента, способным приносить значительные экономические выгоды.

2. Анализ показывает, что при правильной стратегии внедрения рентабельность инвестиций в ИИ-проекты может превышать 300 %, а производительность интеллектуального труда в отдельных задачах, таких как подготовка технической документации и анализ данных, возрастает более чем на 70 %.

3. Однако ключевой вывод заключается в том, что реализация этого колоссального потенциала зависит не столько от совершенства самих технологий, сколько от глубины и последовательности организационных преобразований. Успех определяется способностью компании создать единую data-ориентированную культуру, инвестировать в развитие новых компетенций персонала и кардинально перестроить устоявшиеся бизнес-процессы.

4. На основе полученных результатов можно сформулировать ряд стратегических императивов для руководства корпораций, стремящихся использовать ИИ для усиления своих инновационных возможностей. Во-первых, необходимо перейти от восприятия ИИ как инструмента сокращения издержек к его пониманию как двигателя роста и создания новой ценности. Это требует от лидеров личной вовлеченности в продвижение data-first культуры и выделения ресурсов на построение унифицированной архитектуры данных, что является главным условием для преодоления наиболее значимого барьера на пути к успеху. Во-вторых, следует придерживаться сбалансированной инвестиционной модели, известной как правило «10-20-70», где основное внимание и до 70 % ресурсов направляется на людей и процессы, что позволяет избежать «парадокса продуктивности» и обеспечить реальную отдачу от технологий. В-третьих, требуется фундаментальный пересмотр кадровой стратегии, направленный на формирование культуры синергии человека и ИИ и использование уникальной способности технологии «сжимать» квалификационные разрывы, повышая общую эффективность команд.

5. Заглядывая в будущее, можно с уверенностью прогнозировать, что текущий этап развития ИИ, характеризующийся его использованием в качестве «помощника» или «копилота», является лишь переходным. На горизонте следующих нескольких лет нас ожидает переход к эпохе «агентивного ИИ» или более автономных систем, способных самостоятельно ставить цели, планировать и выполнять сложные комплексные задачи в рамках инновационного цикла. Этот переход ставит перед наукой и практикой новые фундаментальные вопросы, касающиеся моделей корпоративного управления в условиях частичной передачи принятия решений машинам, механизмов распределения ответственности за результаты работы ИИ-агентов, а также долгосрочного влияния на организационные структуры и рынок труда. Компании, которые сегодня смогут овладеть искусством эффективного человеко-машинного взаимодействия и построить динамичные, самообучающиеся орга-

низационные системы, получают решающее преимущество в наступающей эре автономных инноваций.

Список литературы

1. Пономарев В. О. Трансформация менеджмента с помощью искусственного интеллекта: адаптация организаций к новым реалиям // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2025. № 5. С. 345–347.
2. Плёткин Р. П. Использование искусственного интеллекта в деятельности компаний: зарубежный опыт // Валютное регулирование. Валютный контроль. 2024. № 11. С. 58–69.
3. Луковников Н. В. Влияние технологий искусственного интеллекта на инновационный успех предприятий // Актуальные проблемы экономики и управления на предприятиях машиностроения, нефтяной и газовой промышленности в условиях инновационно-ориентированной экономики. 2024. № 14. С. 157–162.
4. Дементьев К. И. Анализ мирового опыта применения искусственного интеллекта для оптимизации бизнес-процессов предприятий // Управленческое консультирование. 2023. № 1 (169). С. 107–120.
5. Плёткин Р. П. Трансформация бизнес-процессов организации на основе применения искусственного интеллекта // Горизонты экономики. 2024. № 4 (84). С. 71–76.
6. Зайченко И. М., Чжоу Х., Иванов А. К. Влияния искусственного интеллекта на процессы управления предприятиями // Инновации и инвестиции. 2025. № 1. С. 511–513.
7. Аксенов А. А. Управление инновациями с помощью искусственного интеллекта // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2020. Т. 8. № 2 (49). С. 47–53.
8. Феценко В. В., Щеликова Н. Ю., Доценко Е. В. Искусственный интеллект в корпоративном управлении: новые горизонты и возможности // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2024. № 12. С. 328–334.
9. Резниченко П. Ю. Использование искусственного интеллекта в инновационном развитии компаний // Modern Economy Success. 2023. № 1. С. 123–127.
10. Зуб А. Т., Петрова К. С. Искусственный интеллект в корпоративном управлении: возможности и границы применения // Государственное управление. Электронный вестник. 2022. № 94. С. 173–187.
11. Кочетов Д. И. Стратегии внедрения систем искусственного интеллекта для повышения эффективности управленческих решений в организациях // Вестник Академии права и управления. 2024. № 4 (79). С. 162–168.
12. Барсуков В. В., Коренькина Н. Н. Искусственный интеллект в управлении предприятием: применение и перспективы развития // Интеллектуальные ресурсы – региональному развитию. 2025. № 1. С. 652–658.
13. Абдулаева Х. С. Влияние искусственного интеллекта на инновации в менеджменте // Актуальные вопросы современной экономики. 2024. № 6. С. 253–255.

14. Агеев А. В., Симонов С. В., Кашин С. М. и др. Возможности использования искусственного интеллекта при принятии управленческих решений в системе корпоративного менеджмента // Вестник Челябинского государственного университета. 2023. № 12 (482). С. 126–133.

15. Прядко И. А. Управление корпорациями с использованием искусственного интеллекта // Вестник Института дружбы народов Кавказа (Теория экономики и управления народным хозяйством). Экономические науки. 2024. № 4 (72). С. 170–177.

References

1. Ponomarev V. O. Transformation of management with the help of artificial intelligence: adaptation of organizations to new realities. *Competitiveness in the Global World: Economics, Science, Technology*, 2025, no. 5, pp. 345–347.
2. Plenkin R. P. The use of artificial intelligence in company activities: foreign experience. *Currency Regulation. Currency Control*, 2024, no. 11, pp. 58–69.
3. Lukovnikov N. V. The impact of artificial intelligence technologies on the innovative success of enterprises. *Current Problems of Economics and Management at Enterprises in Mechanical Engineering, Oil and Gas Industry in an Innovation-Oriented Economy*, 2024, no. 14, pp. 157–162.
4. Dementyev K. I. Analysis of global experience in the use of artificial intelligence for optimizing enterprise business processes. *Management Consulting*, 2023, no. 1 (169), pp. 107–120.
5. Plenkin R. P. Transformation of organizational business processes based on the use of artificial intelligence. *Horizons of Economics*, 2024, no. 4 (84), pp. 71–76.
6. Zaichenko I. M., Zhou H., Ivanov A. K. The impact of artificial intelligence on enterprise management processes. *Innovations and Investments*, 2025, no. 1, pp. 511–513.
7. Aksenov A. A. Innovation management through artificial intelligence. *Relevant Directions of Scientific Research of the 21st Century: Theory and Practice*, 2020, vol. 8, no. 2 (49), pp. 47–53.
8. Feshchenko V. V., Shchelikova N. Yu., Dotsenko E. V. Artificial intelligence in corporate governance: new horizons and opportunities. *Competitiveness in the Global World: Economics, Science, Technology*, 2024, no. 12, pp. 328–334.
9. Reznichenko P. Yu. The use of artificial intelligence in the innovative development of companies. *Modern Economy Success*, 2023, no. 1, pp. 123–127.
10. Zub A. T., Petrova K. S. Artificial intelligence in corporate governance: opportunities and limits of application. *Public Administration. Electronic Bulletin*, 2022, no. 94, pp. 173–187.
11. Kochetov D. I. Strategies for implementing artificial intelligence systems to improve the effectiveness of managerial decision-making in organizations. *Bulletin of the Academy of Law and Management*, 2024, no. 4 (79), pp. 162–168.
12. Barsukov V. V., Korenyakina N. N. Artificial intelligence in enterprise management: application and development prospects. *Intellectual Resources – Regional Development*, 2025, no. 1, pp. 652–658.

13. Abdulaeva Kh. S. The impact of artificial intelligence on innovations in management. *Relevant Issues of the Modern Economy*, 2024, no. 6, pp. 253–255.

14. Ageev A. V., Simonov S. V., Kashin S. M. et al. Opportunities for the use of artificial intelligence in managerial decision-making within the corporate management system.

Bulletin of Chelyabinsk State University, 2023, no. 12 (482), pp. 126–133.

15. Pryadko I. A. Corporate governance using artificial intelligence. *Bulletin of the Institute of the Peoples' Friendship of the Caucasus (Theory of Economics and Management of the National Economy)*. *Economic Sciences*, 2024, no. 4 (72), pp. 170–177.

УДК 338.45.01:338.24.021

Д. С. ШИХАЛИЕВА, д-р экономич. наук (РТУ МИРЭА, г. Москва); **Д. Е. МОРКОВКИН**, **А. Ю. МИХАЙЛОВ**, кандидаты экономич. наук, **Т. В. ПЕТРУСЕВИЧ**, **Г. И. АЛЕЕВА** (Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва); **Ш. У. НИЯЗБЕКОВА**, канд. экономич. наук (Российский государственный социальный университет; Московский университет имени С. Ю. Витте, г. Москва); **Г. Т. АЙМАКОВА** (РУДН им. Патриса Лумумбы, г. Москва)

E-mail: shakizada.niyazbekova@gmail.com

D. S. Shikhalieva (MIREA – Russian Technological University); **D. E. Morkovkin**, **A. U. Mikhaylov**, **T. V. Petrusevich**, **G. I. Aleeva** (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow); **Sh. U. Niyazbekova** (Russian State Social University; Moscow Witte University, Moscow); **G. T. Aimakova** (Patrice Lumumba Peoples Friendship University of Russia, Moscow)

Организационно-экономический механизм повышения эффективности промышленного производства на основе интеграции цифровых технологий и инновационных методов управления

Organizational and economic mechanism for increasing the efficiency of industrial production based on the integration of digital technologies and innovative management methods

Исследование посвящено комплексному анализу трансформации организационно-экономических механизмов промышленного производства в условиях повсеместной цифровизации и внедрения инновационных управленческих моделей. В работе представлена периодизация эволюции производственных систем от традиционных форм индустриальной организации к современным интегрированным экосистемам, характеризующаяся качественным изменением принципов взаимодействия ключевых элементов производственного процесса в контексте технологической трансформации и конкурентной динамики глобальных рынков. Проведенный анализ демонстрирует, что первичная активизация интеграционных процессов цифровых технологий в промышленное производство начинается в ранних 2000-х гг. с внедрения базовых систем автоматизации и информатизации, трансформировавшись впоследствии в полноценную парадигму «Индустрии 4.0» с конвергенцией физических и кибернетических систем. Значимыми индикаторами зрелости современных промышленных систем становятся: формирование цифровых двойников производства, интегрированные платформенные решения, предиктивная аналитика и адаптивные алгоритмы управления производственными процессами. В работе идентифицированы ключевые детерминанты эффективности интеграции цифровых технологий в промышленное производство, включая комплементарность технологий и организационных структур, синхронизацию цепочек создания стоимости, развитие когнитивных систем мониторинга и алгоритмической оптимизации. Отмечена тенденция к возникновению новых форм организационных структур, обусловленная трансформацией традиционных иерархических моделей в сетевые и платформенные конфигурации с высоким уровнем автономности и самоорганизации производственных подсистем. Особое внимание уделено анализу ключевых барьеров и рисков цифровой трансформации промышленных предприятий. Выявлена значимость согласованного изменения операционных,

управленческих и стратегических контуров промышленной организации для обеспечения системного эффекта от внедрения цифровых технологий. Установлена корреляция между зрелостью цифровой архитектуры предприятия и потенциалом реализации инновационных бизнес-моделей. В исследовании представлен многофакторный анализ эффективности интеграции цифровых технологий и инновационных методов управления на основе таких критериев, как адаптивность производственной системы, скорость обновления продуктовых линеек, оптимизация ресурсных потоков, полнота использования производственных мощностей и устойчивость цепочек создания ценности. Выявлена существенная дифференциация результатов цифровой трансформации, детерминированная как стратегической готовностью предприятий к инновациям, так и институциональной средой функционирования промышленных систем. Подчеркивается, что формирование эффективных организационно-экономических механизмов промышленного производства в цифровую эпоху требует комплексного пересмотра принципов проектирования производственных систем с учетом возрастающей сложности технологических процессов и нелинейности экономических взаимодействий, что создает предпосылки для качественно нового этапа развития промышленного сектора.

The study is devoted to a comprehensive analysis of the transformation of organizational and economic mechanisms of industrial production in the context of widespread digitalization and the introduction of innovative management models. The paper presents a periodization of the evolution of production systems from traditional forms of industrial organization to modern integrated ecosystems, characterized by a qualitative change in the principles of interaction of key elements of the production process in the context of technological transformation and competitive dynamics of global markets. The analysis demonstrates that the primary activation of the integration processes of digital technologies in industrial production began in the early 2000s with the introduction of basic automation and informatization systems, subsequently transforming into a full-fledged paradigm of «Industry 4.0» with the convergence of physical and cybernetic systems. Significant indicators of the maturity of modern industrial systems have become: the formation of digital twins of production, integrated platform solutions, predictive analytics and adaptive algorithms for managing production processes. The paper identifies key determinants of the efficiency of integrating digital technologies into industrial production, including complementarity of technologies and organizational structures, synchronization of value chains, development of cognitive monitoring systems and algorithmic optimization. The paper notes a tendency towards the emergence of new forms of organizational structures caused by the transformation of traditional hierarchical models into network and platform configurations with a high level of autonomy and self-organization of production subsystems. Particular attention is paid to the analysis of key barriers and risks of digital transformation of industrial enterprises. The significance of coordinated changes in the operational, managerial and strategic contours of an industrial organization to ensure a systemic effect from the introduction of digital technologies is revealed. A correlation is established between the maturity of the enterprise digital architecture and the potential for implementing innovative business models. The study presents a multivariate analysis of the efficiency of integrating digital technologies and innovative management methods based on such criteria as adaptability of the production system, rate of updating product lines, optimization of resource flows, full use of production capacities and sustainability of value chains. The article reveals a significant differentiation in the results of digital transformation, determined by both the strategic readiness of enterprises for innovation and the institutional environment for the functioning of industrial systems. It is emphasized that the formation of effective organizational and economic mechanisms for industrial production in the digital era requires a comprehensive revision of the principles of designing production systems, taking into account the increasing complexity of technological processes and the nonlinearity of economic interactions, which creates the prerequisites for a qualitatively new stage in the development of the industrial sector.

Ключевые слова: цифровая трансформация; промышленное производство; организационно-экономический механизм; Индустрия 4.0; киберфизические системы; инновационные методы управления; цифровые двойники; промышленный интернет вещей; предиктивная аналитика; бизнес-модели промышленных предприятий; технологическая интеграция; производственные экосистемы.

Keywords: digital transformation; industrial production; organizational and economic mechanism; Industry 4.0; cyber-physical systems; innovative management methods; digital twins; industrial Internet of Things; predictive analytics; business models of industrial enterprises; technological integration; production ecosystems.

Современный этап развития промышленного производства характеризуется фундаментальными изменениями в технологических укладах и производственных парадигмах. Интеграция цифровых технологий и инновационных методов управления становится ключевым фактором конкурентоспособности промышленных предприятий в условиях глобальных вызовов и нарастающей неопределенности рыночной среды. Формирование эффективных организационно-экономических механизмов, способных обеспечить синергию технологических инноваций и управленческих практик, представляет собой сложную научно-практическую задачу, требующую комплексного исследования.

Четвертая промышленная революция радикально меняет производственный ландшафт, трансформируя традиционные бизнес-модели и создавая новые организационные формы. Киберфизические системы, промышленный интернет вещей, облачные вычисления, аддитивное производство и искусственный интеллект из технологических новшеств превращаются в фундаментальные компоненты промышленной инфраструктуры. В данном контексте традиционные механизмы организации производственных процессов претерпевают значительные изменения, требуя научного осмысления и разработки новых концептуальных подходов.

В РФ цифровая трансформация промышленности приобретает особую актуальность в связи с необходимостью обеспечения технологического суверенитета и реиндустриализации экономики. Преодоление технологического отставания и формирование высокотехнологичных производственных комплексов становится стратегическим приоритетом государственной политики. При этом недостаточно исследованными остаются вопросы формирования адаптивных организационно-экономических механизмов, способных эффективно интегрировать цифровые технологии и инновационные управленческие практики в промышленное производство.

Научная проблема исследования заключается в необходимости разрешения противоречия между возрастающей сложностью и интенсивностью технологических изменений в промышленном производстве и ограниченностью существующих организационно-экономических механизмов, не обеспечивающих адекватного уровня адаптивности и эффективности в условиях цифровой трансформации. Требуется разработка интегрированного подхода к формированию таких механизмов, которые позволили бы максимизировать экономические эффекты от внедрения цифровых технологий при одновременной минимизации трансформационных рисков и социально-экономических издержек.

Объектом исследования выступают организационно-экономические механизмы функционирования промышленных предприятий в условиях цифровой трансформации производственных процессов.

Предметом исследования являются методы, инструменты и модели повышения эффективности промышленного производства на основе интеграции цифровых технологий и инновационных методов управления.

Цель данной работы – разработка теоретико-методологических положений и практических рекомендаций по формированию организационно-экономического механизма повышения эффективности промышленного производства на основе интеграции цифровых технологий и инновационных методов управления.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

1. Исследовать эволюцию концептуальных подходов к организации промышленного производства и выявить закономерности трансформации производственных парадигм в контексте технологических революций.
2. Систематизировать и классифицировать современные цифровые технологии и инновационные методы управления, применяемые в промышленном производстве, выявить ключевые факторы эффективности их интеграции.
3. Разработать концептуальную модель организационно-экономического механизма повышения эффективности промышленного производства на основе интеграции цифровых технологий и инновационных методов управления.
4. Провести анализ барьеров и ограничений цифровой трансформации промышленных предприятий, определить ключевые риски и возможности их минимизации.
5. Сформировать методический подход к оценке эффективности интеграции цифровых технологий и инновационных методов управления в промышленном производстве.
6. Разработать стратегический инструментарий формирования организационно-экономического механизма цифровой трансформации промышленных предприятий с учетом отраслевой специфики и уровня технологической зрелости.

Научная новизна исследования заключается в разработке целостной концепции формирования организационно-экономического механизма повышения эффективности промышленного производства на основе интеграции цифровых технологий и инновационных методов управления, включающей:

- концептуальную модель взаимодействия технологических, организационных и экономических

компонентов цифровой трансформации промышленных предприятий;

- типологию организационно-экономических механизмов промышленного производства в зависимости от уровня технологической зрелости и инновационного потенциала предприятий;
- методический инструментарий оценки эффективности интеграции цифровых технологий и инновационных методов управления в промышленном производстве;
- стратегическую карту цифровой трансформации промышленного предприятия, отражающую ключевые зоны организационных изменений и технологических инноваций.

Практическая значимость исследования определяется возможностью использования разработанных теоретических положений и методических рекомендаций в деятельности промышленных предприятий при проектировании и реализации программ цифровой трансформации, а также органами государственной власти при разработке отраслевых стратегий и программ поддержки технологической модернизации промышленности.

Материалы и методы исследования

При написании научной статьи автором применяются методы системного анализа, компаративного исследования, исторической ретроспективы, научной абстракции, моделирования, структурно-функционального анализа, статистической обработки данных, технологического форсайта и экспертных оценок.

Методологический инструментарий исследования базируется на комплексном подходе к изучению промышленного производства как сложной социотехнической системы, функционирующей в условиях нелинейных технологических и организационных трансформаций. Применение системного подхода позволяет рассмотреть процессы цифровой трансформации промышленных предприятий в единстве технологических, организационных, экономических и социальных аспектов, выявив ключевые взаимосвязи между элементами формируемых механизмов.

Информационной базой исследования служат: статистические данные федеральных органов государственной статистики; аналитические отчеты международных консалтинговых компаний о цифровой трансформации промышленности; материалы научных конференций и симпозиумов по проблемам цифровизации промышленного производства; результаты эмпирических исследований эффективности внедрения цифровых технологий в промышленность; программные документы и нормативно-правовые акты в сфере промышленной политики и цифровой экономики; научные публикации отечественных и

зарубежных исследователей по проблематике цифровой трансформации и инновационного развития промышленности.

В основу исследования ложатся научные труды следующих авторов: А. В. Заступова, И. А. Наугольной, Е. И. Гнатышиной, Р. М. Мугутдинова, С. А. Толкачева, Я. И. Ваславского, А. М. Андрианова [1–7].

Результаты исследования и их обсуждения

Промышленное производство как фундаментальный сектор экономической деятельности претерпело значительные трансформации, обусловленные сменой технологических укладов и производственных парадигм. Анализ исторической эволюции промышленного производства позволяет выделить ключевые этапы развития, характеризующиеся качественными изменениями в технологической базе, организационных структурах и экономических механизмах функционирования производственных систем.

Первая промышленная революция (конец XVIII – начало XIX вв.) знаменуется переходом от ручного труда к машинному производству, основанному на использовании энергии воды и пара. Формирование фабричной системы привело к централизации производственных процессов и возникновению новых форм организации труда. Экономический механизм функционирования промышленных предприятий базируется на принципах специализации и разделения труда, что значительно повышает производительность и способствует формированию первых промышленных районов.

Вторая промышленная революция (конец XIX – начало XX вв.) связана с электрификацией производства и развитием поточных методов организации труда. Возникновение конвейерных линий и внедрение научного менеджмента Ф. Тейлора радикально изменяют подходы к организации производственных процессов. Экономический механизм функционирования промышленных предприятий эволюционирует в направлении стандартизации производства и достижения эффекта масштаба. Доминирующим типом организационной структуры становится иерархическая модель с вертикальной интеграцией и формализованной системой управления.

Третья промышленная революция (вторая половина XX в.) характеризуется автоматизацией производственных процессов на основе использования компьютерных технологий и программируемых логических контроллеров. Внедрение гибких производственных систем и компьютеризированного управления обеспечивает возможность быстрой переналадки оборудования и диверсификации продуктовых линеек. Организационно-экономический механизм

промышленного производства трансформируется в направлении *lean*-производства, тотального управления качеством и аутсорсинга неключевых компетенций. Формирование глобальных цепочек создания стоимости привело к территориальной дезинтеграции производственных процессов и возникновению сетевых форм организации.

Четвертая промышленная революция (начало XXI в.) знаменует переход к цифровым экосистемам производства, основанным на конвергенции физических и кибернетических систем. Промышленный интернет вещей, облачные вычисления, аддитивные технологии, искусственный интеллект и робототехника формируют новую технологическую парадигму – «Индустрию 4.0». Организационно-экономический механизм промышленного производства эволюционирует в направлении платформенных решений, сервитизации производства и персонализации предложения. Формируются цифровые экосистемы, объединяющие производителей, поставщиков, потребителей и инновационных партнеров в единую сеть создания ценности.

Систематизация ключевых характеристик организационно-экономических механизмов промышленного производства на различных этапах технологической эволюции представлена в табл. 1 [8–10].

Анализ представленных в табл. 1 данных свидетельствует о фундаментальной трансформации ключевых параметров организационно-экономических

механизмов промышленного производства в контексте технологической эволюции. Особое значение приобретает переход от линейных и иерархических моделей организации к сетевым и платформенным структурам, обеспечивающим гибкость и адаптивность производственных систем в условиях нарастающей нестабильности рыночной среды.

Анализ эволюции производственных парадигм позволяет выделить ключевую тенденцию современного этапа – переход от фокуса на оптимизацию отдельных параметров производственной системы (производительность, качество, гибкость) к комплексной трансформации всех аспектов организационно-экономического механизма предприятия на основе цифровизации физических и управленческих процессов.

Цифровая трансформация промышленных предприятий предполагает фундаментальное изменение организационно-экономических механизмов функционирования производственных систем. Интеграция цифровых технологий затрагивает все уровни и контуры управления предприятием, от операционного уровня организации производственных процессов до стратегического уровня формирования бизнес-моделей и рыночного позиционирования.

Систематизация ключевых направлений трансформации организационно-экономических механизмов промышленного производства в контексте цифровизации представлена в табл. 2 [11–13].

Таблица 1

Эволюция организационно-экономических механизмов промышленного производства

Параметр	Индустрия 1.0	Индустрия 2.0	Индустрия 3.0	Индустрия 4.0
Технологическая база	Механизация производства, использование энергии воды и пара	Конвейерное производство, электрификация, массовое производство	Автоматизация производства, компьютеризация, гибкие производственные системы	Киберфизические системы, промышленный интернет вещей, искусственный интеллект
Организационная структура	Мануфактура, фабрика с централизованным управлением	Иерархическая структура с вертикальной интеграцией	Матричные структуры, горизонтальные связи, аутсорсинг	Сетевые и платформенные структуры, цифровые экосистемы
Экономический механизм	Специализация и разделение труда, максимизация производительности	Эффект масштаба, стандартизация, снижение себестоимости	Диверсификация, гибкость, оптимизация бизнес-процессов	Персонализация, сервитизация, платформенные бизнес-модели
Принципы управления	Прямой контроль, авторитарный стиль	Научный менеджмент, административный подход	Системный подход, TQM, lean-производство	Самоорганизация, agile-методы, предиктивная аналитика
Фокус инноваций	Технические усовершенствования, механизация ручного труда	Технологические инновации, оптимизация поточного производства	Процессные инновации, автоматизация операций	Бизнес-модельные инновации, цифровизация физического мира
Конкурентные преимущества	Снижение затрат на физический труд, ускорение производства	Массовость производства, ценовое лидерство	Гибкость и адаптивность, дифференциация продукции	Скорость реакции на изменения, персонализация предложения

Таблица 2

Трансформация организационно-экономических механизмов промышленного производства в условиях цифровизации

Компонент механизма	Традиционный подход	Цифровой подход	Ключевые технологии трансформации
Организация производственных процессов	Линейное поточное производство, жесткая последовательность операций	Распределенное адаптивное производство, реконфигурируемые технологические цепочки	Промышленный интернет вещей, киберфизические системы, 3D-печать
Управление материальными потоками	Партионные поставки, буферные запасы, <i>push</i> -система	Синхронизированные потоки, минимальные запасы, <i>pull</i> -система с цифровой координацией	<i>RFID</i> -технологии, блокчейн, цифровые платформы снабжения
Планирование производства	Централизованное планирование, агрегированные модели, долгосрочная оптимизация	Распределенное планирование, многоагентные системы, динамическая оптимизация	Предиктивная аналитика, искусственный интеллект, цифровые двойники
Контроль качества	Выборочный контроль, статистические методы, реактивный подход	100 % контроль, интеллектуальные системы мониторинга, превентивный подход	Машинное зрение, сенсорные сети, большие данные
Экономический механизм функционирования	Максимизация загрузки мощностей, снижение себестоимости, экономия от масштаба	Максимизация гибкости, монетизация дополнительных сервисов, экономия от разнообразия	Цифровые платформы, сервисные бизнес-модели, микросегментация рынка
Организационная структура	Иерархическая, функциональная, централизованное принятие решений	Сетевая, проектная, распределенное принятие решений с алгоритмической поддержкой	Цифровые коммуникационные платформы, инструменты коллективной работы, системы поддержки принятия решений
Управление знаниями и компетенциями	Формализованные процедуры, передача знаний через документацию и обучение	Интеллектуализация производства, непрерывное обучение, накопление корпоративных знаний в цифровой форме	Экспертные системы, технологии дополненной реальности, корпоративные базы знаний
Взаимодействие с рынком	Продуктоцентричность, стандартизированное предложение, обезличенный маркетинг	Клиентоцентричность, персонализированное предложение, предиктивный маркетинг	Цифровые платформы взаимодействия с клиентами, аналитика клиентского поведения, системы омниканальных коммуникаций
Инновационная деятельность	Централизованные НИОКР, закрытые инновации, стадийный процесс разработки	Распределенные инновационные сети, открытые инновации, итеративный процесс разработки	Цифровые инновационные платформы, системы управления идеями, технологии быстрого прототипирования
Финансово-экономическое управление	Бюджетирование на основе исторических данных, оценка по финансовым показателям	Предиктивное бюджетирование, комплексная оценка по системе сбалансированных показателей с учетом цифровых активов	Системы бизнес-аналитики, алгоритмы оптимизации инвестиций, прогностические финансовые модели

Анализ данных, представленных в табл. 2, свидетельствует о кардинальном изменении всех компонентов организационно-экономического механизма промышленного производства под влиянием цифровых технологий. Трансформация затрагивает не только технические аспекты организации производственных процессов, но и управленческие практики, бизнес-модели и стратегическое позиционирование промышленных предприятий на рынке.

Ключевой характеристикой современного этапа цифровой трансформации является переход от дискретной автоматизации отдельных функциональных областей к формированию интегрированных цифровых платформ, объединяющих все аспекты деятельности промышленного предприятия в единую эко-

систему. Данная тенденция обусловлена необходимостью обеспечения синхронизации материальных, информационных и финансовых потоков в условиях возрастающей сложности и неопределенности внешней среды.

В рамках исследования выделены три ключевых уровня интеграции цифровых технологий в промышленное производство:

1. Операционный уровень – внедрение цифровых технологий в производственные процессы с целью повышения эффективности, гибкости и качества производства. На данном уровне ключевую роль играют промышленный интернет вещей, аддитивные технологии, робототехнические комплексы, системы автоматизированного контроля и мониторинга.

2. Управленческий уровень – трансформация систем планирования, учета, контроля и принятия решений на основе анализа больших данных, искусственного интеллекта и цифровых двойников. Основной фокус – повышение скорости и качества управленческих решений, снижение транзакционных издержек, формирование гибких алгоритмов управления.

3. Стратегический уровень – переосмысление бизнес-моделей, подходов к созданию ценности и конкурентных стратегий на основе цифровых платформ, экосистемного взаимодействия и сервисной монетизации. Акцент делается на формирование новых источников конкурентных преимуществ, основанных на уникальных комбинациях физических и цифровых активов.

Эффективная интеграция цифровых технологий в промышленное производство требует согласованной трансформации всех трех уровней и формирования комплексного организационно-экономического механизма, обеспечивающего синергию технологических, организационных и бизнес-инноваций.

На рис. 1 представлена концептуальная модель организационно-экономического механизма повышения эффективности промышленного производства на основе интеграции цифровых технологий и инновационных методов управления.

Представленная на рис. 1 модель демонстрирует многоаспектность организационно-экономического механизма цифрового производства, включающего три взаимосвязанных контура – технологический, организационный и экономический. Эффективность

промышленного производства в условиях цифровой трансформации определяется согласованным развитием всех элементов механизма и формированием синергетических эффектов между технологическими инновациями, организационными изменениями и экономическими моделями создания ценности.

Анализ практик цифровой трансформации промышленных предприятий позволяет выявить ключевые факторы успеха интеграции цифровых технологий в промышленное производство:

1. Стратегическая ориентация на цифровую трансформацию как комплексную программу изменений, затрагивающую все аспекты деятельности предприятия.

2. Формирование цифровой архитектуры предприятия, обеспечивающей интеграцию различных технологических решений в единую экосистему.

3. Развитие цифровых компетенций персонала и создание культуры непрерывных инноваций.

4. Поэтапная реализация программы цифровой трансформации с фокусом на ключевые процессы и быстрые победы.

5. Формирование системы метрик и показателей эффективности цифровой трансформации, позволяющих оценивать прогресс и корректировать направления развития.

В рамках исследования проведена типологизация организационно-экономических механизмов промышленного производства в зависимости от степени интеграции цифровых технологий и инновационных методов управления. Результаты типологизации представлены в табл. 3 [14–16].



Рис. 1. Концептуальная модель организационно-экономического механизма повышения эффективности промышленного производства на основе интеграции цифровых технологий и инновационных методов управления

Таблица 3

Типология организационно-экономических механизмов промышленного производства по степени цифровой зрелости

Параметр	Традиционный механизм	Переходный механизм	Цифровой механизм	Интеллектуальный механизм
Уровень цифровизации производственных процессов	Локальная автоматизация отдельных операций	Комплексная автоматизация ключевых процессов	Полная цифровизация производственной цепочки	Интеллектуальное самооптимизирующееся производство
Организация информационных потоков	Фрагментированные информационные системы, ручной обмен данными	Интегрированные информационные системы класса <i>ERP</i> , <i>MES</i> , <i>PLM</i>	Единая цифровая платформа с реалтайм-мониторингом всех процессов	Когнитивная система предприятия с предиктивной аналитикой
Подход к принятию решений	Иерархический, на основе опыта и интуиции руководителей	Частично алгоритмизированный, на основе анализа исторических данных	Распределенный, на основе анализа больших данных и имитационного моделирования	Автономный, на основе искусственного интеллекта и цифровых двойников
Бизнес-модель	Продуктоцентричная, фокус на эффекте масштаба	Гибридная, сочетание продуктового и сервисного подходов	Сервисно-ориентированная, фокус на клиентском опыте	Экосистемная, фокус на сетевых эффектах и платформенных решениях
Инновационная модель	Закрытые инновации, централизованные НИОКР	Частично открытые инновации, кооперация с ключевыми партнерами	Открытые инновации, интеграция с инновационной экосистемой	Непрерывные инновации, алгоритмическая генерация и оценка инновационных идей
Организационная структура	Иерархическая, функциональная	Матричная, проектно-ориентированная	Сетевая, программно-целевая	Адаптивная, самоорганизующаяся
Экономический механизм	Фокус на оптимизации затрат и загрузке мощностей	Фокус на балансе затрат и гибкости	Фокус на максимизации клиентской ценности	Фокус на создании новых рынков и категорий

Анализ типологии организационно-экономических механизмов промышленного производства позволяет сделать вывод о необходимости поэтапной трансформации предприятий в соответствии с уровнем их технологической, организационной и экономической зрелости. Переход от традиционного к интеллектуальному механизму требует комплексной программы изменений, охватывающей все аспекты деятельности промышленного предприятия – от технологической модернизации производства до пересмотра бизнес-моделей и стратегического позиционирования на рынке.

Интеграция цифровых технологий и инновационных методов управления в промышленное про-

изводство сопряжена с рядом барьеров и рисков, оказывающих значительное влияние на эффективность формируемого организационно-экономического механизма. Идентификация и анализ данных факторов представляют собой важное направление исследования, позволяющее разработать стратегии минимизации рисков и преодоления барьеров цифровой трансформации.

В рамках проведенного исследования систематизированы ключевые барьеры цифровой трансформации промышленных предприятий, структурированные по уровням организационно-экономического механизма (см. табл. 4) [17–19].

Таблица 4

Барьеры цифровой трансформации промышленных предприятий

Уровень	Барьеры	Проявления	Подходы к преодолению
Технологический	Технологическая несовместимость	Сложности интеграции новых цифровых решений с существующей инфраструктурой	Формирование модульной архитектуры технологических систем, разработка интеграционных платформ
	Устаревшая производственная база	Ограниченные возможности модернизации существующего оборудования	Поэтапное обновление производственных активов с приоритизацией критических точек
	Дефицит специализированных цифровых решений	Недостаточное предложение отраслевых технологических решений	Кооперация с технологическими партнерами, участие в консорциумах разработчиков

Окончание табл. 4

Уровень	Барьеры	Проявления	Подходы к преодолению
Организационный	Инерция существующих процессов	Сопrotивление изменениям со стороны среднего менеджмента	Формирование выделенных инновационных подразделений, пилотирование изменений
	Дефицит цифровых компетенций	Недостаточный уровень цифровой грамотности персонала	Разработка программ развития цифровых компетенций, привлечение цифровых талантов
	Негибкие управленческие практики	Доминирование административных методов управления	Внедрение <i>agile</i> -методов, формирование кросс-функциональных команд
Экономический	Высокие инвестиционные затраты	Необходимость значительных вложений при неопределенной отдаче	Фокус на проектах с быстрой окупаемостью, поэтапная реализация программы
	Сложность оценки эффективности	Отсутствие четких метрик <i>ROI</i> цифровых инициатив	Разработка комплексной системы показателей оценки цифровой трансформации
	Быстрое устаревание технологий	Высокие риски инвестиций в решения с коротким жизненным циклом	Формирование модульной архитектуры решений, позволяющей обновлять отдельные компоненты
Стратегический	Отсутствие четкого видения	Фрагментарный подход к цифровизации без стратегических целей	Разработка комплексной стратегии цифровой трансформации
	Фокус на тактических задачах	Приоритет краткосрочных результатов над долгосрочными изменениями	Формирование дорожной карты трансформации с балансом краткосрочных и долгосрочных инициатив
	Дефицит лидерства	Недостаточная вовлеченность топ-менеджмента	Назначение ответственных за цифровую трансформацию на уровне <i>C-suite</i> (<i>CDO, CIO</i>)

Анализ барьеров цифровой трансформации свидетельствует о многоаспектности проблем, с которыми сталкиваются промышленные предприятия при формировании эффективных организационно-экономических механизмов в условиях цифровизации. Преодоление данных барьеров требует системного подхода, охватывающего все уровни организации – от стратегического до операционного, и затрагивающего как технологические, так и организационные,

управленческие и экономические аспекты деятельности.

Наряду с барьерами, цифровая трансформация промышленных предприятий сопряжена с рядом рисков, требующих разработки стратегий минимизации и управления. В табл. 5 представлена типология рисков цифровой трансформации и подходы к управлению ими [20–22].

Таблица 5

Риски цифровой трансформации промышленных предприятий и стратегии управления ими

Категория рисков	Виды рисков	Последствия	Стратегии управления
Технологические	Киберугрозы и уязвимости ИТ-систем	Утечка данных, нарушение производственных процессов, финансовые потери	Комплексная стратегия кибербезопасности, многоуровневая защита, регулярный аудит
	Технологические сбои и отказы	Простои оборудования, срыв производственных планов	Резервирование критических систем, предиктивное обслуживание, планы восстановления
	Зависимость от конкретных технологических поставщиков	Ограничение гибкости, рост операционных затрат	Мультивендорная стратегия, открытые стандарты и интерфейсы
Операционные	Нарушение непрерывности процессов	Снижение эффективности, рост издержек	Постепенная миграция, параллельное функционирование систем

Окончание табл. 5

Категория рисков	Виды рисков	Последствия	Стратегии управления
Операционные	Снижение качества продукции	Падение удовлетворенности клиентов, потеря рынка	Комплексные системы контроля качества, цифровые двойники продукции
	Потеря ключевых компетенций	Зависимость от внешних подрядчиков	Программы развития и удержания талантов, управление знаниями
Экономические	Перерасход бюджета	Снижение рентабельности, дефицит ресурсов для развития	Гибкое бюджетирование, поэтапная реализация с контрольными точками
	Удлинение сроков окупаемости	Недостижение экономических эффектов в плановые сроки	Фокус на проектах с быстрой отдачей, сбалансированный портфель инициатив
	Каннибализация существующих продуктов и услуг	Снижение доходов от традиционных направлений	Планирование перехода, предложение гибридных продуктов и услуг
Стратегические	Выбор неоптимальной технологической траектории	Инвестиции в неперспективные технологии	Технологический форсайт, пилотирование альтернативных решений
	Потеря рыночных позиций	Снижение конкурентоспособности, вытеснение с рынка	Постоянный мониторинг рынка и конкурентов, проактивная стратегия
	Разрушение существующей бизнес-модели	Снижение рентабельности, потеря клиентской базы	Бизнес-моделирование, формирование новых источников доходов

Анализ рисков цифровой трансформации и стратегий управления ими свидетельствует о необходимости формирования комплексной системы риск-менеджмента, интегрированной в общую архитектуру организационно-экономического механизма промышленного предприятия. Ключевыми принципами такой системы должны стать:

1. Проактивный подход к идентификации и оценке рисков на всех этапах цифровой трансформации.
2. Интеграция риск-менеджмента в процессы стратегического и операционного планирования.
3. Формирование культуры осведомленности о рисках на всех уровнях организации.
4. Разработка планов реагирования и минимизации последствий для критических рисков.
5. Постоянный мониторинг и пересмотр стратегий управления рисками в соответствии с изменениями внутренней и внешней среды.

Эффективное управление рисками цифровой трансформации требует сбалансированного подхода, учитывающего как необходимость инновационного развития, так и обеспечение устойчивости и безопасности производственных систем. Избыточная осторожность может привести к технологическому отставанию и потере конкурентных позиций, в то время как недостаточное внимание к рискам может обернуться серьезными сбоями и экономическими потерями.

На основе анализа теоретических подходов к цифровой трансформации промышленных предприятий и исследования практик интеграции цифровых тех-

нологий в производственные процессы разработана концептуальная модель организационно-экономического механизма повышения эффективности промышленного производства в условиях цифровизации (см. рис. 2).

Представленная концептуальная модель отражает многоуровневый характер организационно-экономического механизма промышленного предприятия, включающего три взаимосвязанных контура: стратегический, управленческий и операционный. Ключевым интегрирующим элементом механизма выступает цифровая платформа, обеспечивающая синхронизацию и координацию всех компонентов на основе единой информационной среды.

Стратегический контур механизма определяет долгосрочные ориентиры цифровой трансформации предприятия, формирует видение цифрового будущего и устанавливает основные направления изменений. Ключевыми элементами данного контура являются:

1. Цифровая стратегия определяет приоритетные направления и цели цифровой трансформации, согласованные с общей стратегией развития предприятия.
2. Бизнес-модель формирует механизмы создания, доставки и монетизации ценности на основе интеграции физических и цифровых активов.
3. Архитектура цифрового предприятия определяет принципы построения технологической и организационной инфраструктуры, обеспечивающей реализацию цифровой стратегии.

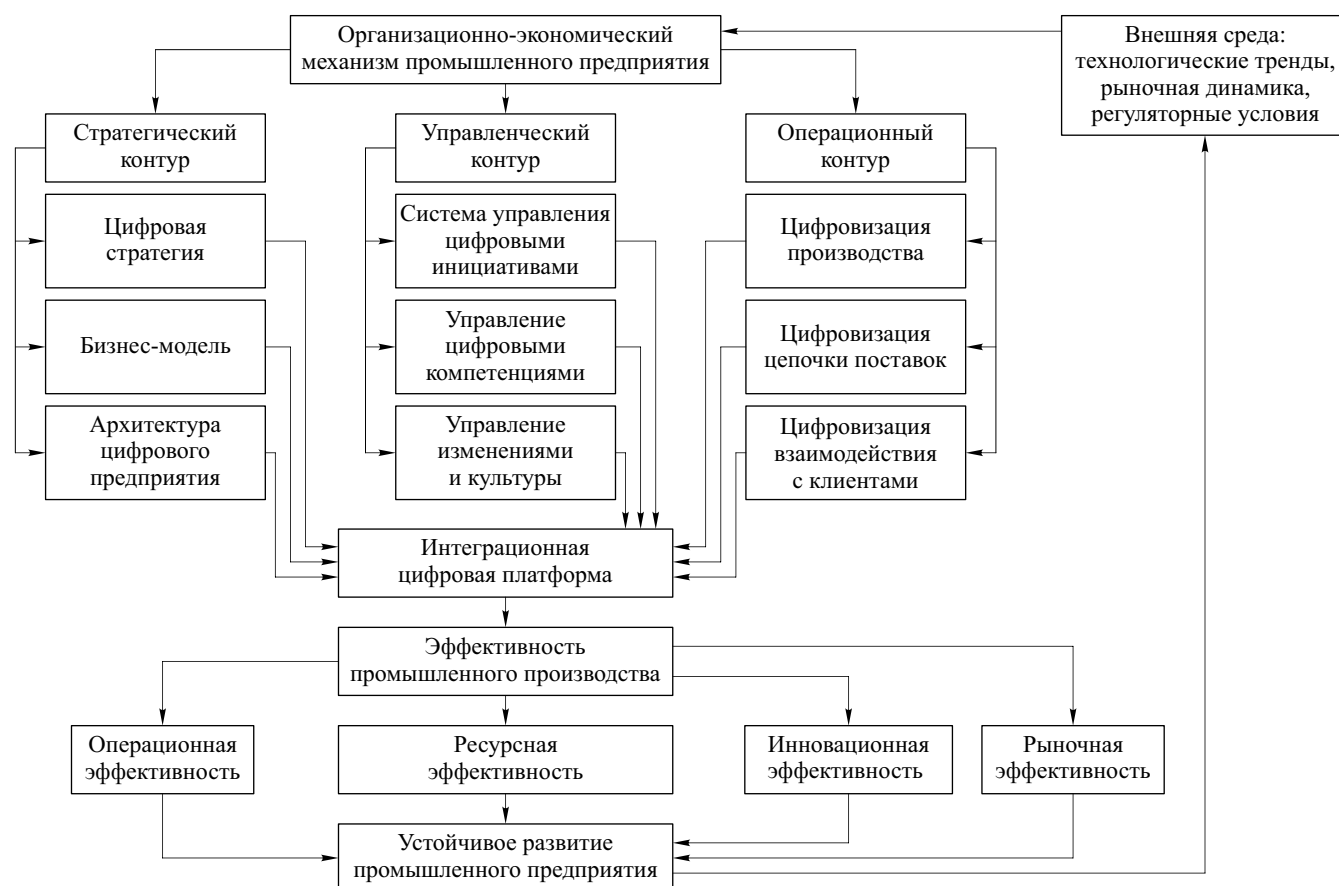


Рис. 2. Концептуальная модель организационно-экономического механизма повышения эффективности промышленного производства на основе интеграции цифровых технологий и инновационных методов управления

Управленческий контур механизма обеспечивает реализацию стратегических инициатив через формирование соответствующих управленческих практик, компетенций и культуры. Основными компонентами данного контура выступают:

1. Система управления цифровыми инициативами определяет подходы к планированию, реализации и контролю цифровых проектов и программ.

2. Управление цифровыми компетенциями обеспечивает формирование и развитие знаний, навыков и опыта, необходимых для эффективной работы в условиях цифрового производства.

3. Управление изменениями и культурой создает организационные и мотивационные условия для успешной цифровой трансформации, формирует культуру инноваций и непрерывного совершенствования.

Операционный контур механизма отвечает за непосредственную интеграцию цифровых технологий в производственные и бизнес-процессы предприятия. Ключевыми направлениями цифровизации на данном уровне являются:

1. Цифровизация производства – внедрение киберфизических систем, промышленного интернета вещей, аддитивных технологий и интеллектуальных систем управления в производственные процессы.

2. Цифровизация цепочки поставок – формирование интегрированных цифровых платформ взаимодействия с поставщиками, оптимизация логистических процессов на основе предиктивной аналитики и блокчейн-технологий.

3. Цифровизация взаимодействия с клиентами – развитие цифровых каналов коммуникации, сбора и анализа данных о клиентском опыте, кастомизации продуктов и услуг на основе цифровых технологий.

Интеграционная цифровая платформа выступает связующим звеном всех компонентов механизма, обеспечивая сбор, обработку и распределение данных, формирование единого информационного пространства и координацию действий всех участников. Архитектура платформы должна обеспечивать модульность, масштабируемость и интероперабельность, позволяя гибко адаптироваться к изменениям внешней и внутренней среды.

Эффективность промышленного производства в рамках предложенной модели оценивается по четырем ключевым направлениям:

1. Операционная эффективность – оптимизация производственных процессов, снижение себестоимости, повышение качества продукции.

2. Ресурсная эффективность – оптимальное использование материальных, энергетических, трудовых и финансовых ресурсов.

3. Инновационная эффективность – скорость разработки и вывода на рынок новых продуктов, внедрения новых технологий и бизнес-моделей.

4. Рыночная эффективность – расширение клиентской базы, рост доли рынка, увеличение доходов и прибыли.

Устойчивое развитие промышленного предприятия выступает интегральным результатом функционирования организационно-экономического механизма, отражая способность предприятия адаптироваться к изменениям внешней среды, сохранять и укреплять конкурентные позиции в долгосрочной перспективе.

Предложенная концептуальная модель позволяет комплексно представить организационно-экономи-

ческий механизм повышения эффективности промышленного производства на основе интеграции цифровых технологий и инновационных методов управления. Преимуществом данной модели является системный подход к цифровой трансформации, учитывающий взаимосвязи между различными уровнями и компонентами механизма, а также циклический характер процесса развития, при котором результаты функционирования становятся исходными условиями для нового цикла преобразований.

Для практической реализации концептуальной модели разработаны методические рекомендации по формированию организационно-экономического механизма повышения эффективности промышленного производства в условиях цифровизации. Ключевые этапы формирования механизма представлены в табл. 6 [23–25].

Таблица 6

Этапы формирования организационно-экономического механизма повышения эффективности промышленного производства на основе интеграции цифровых технологий

Этап	Содержание	Результаты	Методы и инструменты
1. Диагностика цифровой зрелости	Оценка текущего уровня цифровизации производственных и бизнес-процессов, анализ организационных структур и бизнес-моделей	Карта цифровой зрелости, выявление цифровых разрывов, определение приоритетных областей трансформации	Методика оценки цифровой зрелости, бенчмаркинг, <i>SWOT</i> -анализ цифрового потенциала
2. Разработка цифровой стратегии	Формирование видения цифрового будущего, определение стратегических целей, формирование портфеля цифровых инициатив	Документ цифровой стратегии, система целевых показателей, дорожная карта цифровой трансформации	Сценарное планирование, стратегические сессии, технологический форсайт
3. Проектирование архитектуры цифрового предприятия	Определение принципов построения технологической и организационной инфраструктуры, выбор ключевых технологических решений	Референтная архитектура цифрового предприятия, технологическая дорожная карта, спецификации ключевых компонентов	Архитектурное моделирование, технологический аудит, проектные семинары
4. Формирование системы управления цифровой трансформацией	Создание организационных структур, ролей и процессов для реализации цифровой стратегии	Положение о центре компетенций по цифровизации, регламенты управления цифровыми проектами, система мотивации	Организационное проектирование, процессное моделирование, система сбалансированных показателей
5. Развитие цифровых компетенций	Оценка потребности в цифровых компетенциях, разработка программ обучения и развития персонала	Модель цифровых компетенций, программы обучения, система оценки и сертификации	Компетентностный подход, карты развития персонала, корпоративный университет
6. Реализация пилотных проектов	Внедрение цифровых решений на отдельных участках производства, тестирование гипотез, оценка эффектов	Прототипы цифровых решений, данные об эффективности, рекомендации по масштабированию	<i>Agile</i> -методы управления проектами, <i>MVP</i> , <i>A/B</i> -тестирование
7. Масштабирование успешных решений	Распространение апробированных цифровых решений на все подразделения, интеграция с существующими системами	Комплексные цифровые решения, интегрированная ИТ-инфраструктура, новые бизнес-процессы	Программное управление, управление изменениями, <i>DevOps</i> -подходы
8. Мониторинг и оптимизация	Оценка результатов цифровой трансформации, выявление проблем, корректировка подходов	Система мониторинга эффективности, аналитические отчеты, корректирующие мероприятия	Бизнес-аналитика, корпоративный дашборд, непрерывное совершенствование

Предложенная последовательность этапов формирования организационно-экономического механизма позволяет структурировать процесс цифровой трансформации промышленного предприятия, обеспечивая системный подход к интеграции цифровых технологий и инновационных методов управления. При этом важно учитывать, что реализация этапов может осуществляться не строго последовательно, а с определенной степенью параллельности и итеративности, что позволяет адаптировать процесс к изменениям внешней среды и уточнению целевых ориентиров.

Оценка эффективности интеграции цифровых технологий и инновационных методов управления в промышленное производство представляет собой сложную методическую задачу, требующую разработки комплексной системы показателей, учитывающих многоаспектность и нелинейность эффектов цифровой трансформации. В рамках исследования разработан методический подход к оценке эффективности, основанный на сбалансированной системе

показателей, адаптированной к специфике цифровой трансформации промышленных предприятий [17–35].

Методический подход включает четыре группы показателей, отражающих различные аспекты эффективности промышленного производства в условиях цифровизации:

1. Операционные показатели характеризуют эффективность производственных процессов и использования ресурсов.

2. Инновационные показатели отражают способность предприятия к созданию и внедрению новых продуктов, услуг и бизнес-моделей.

3. Клиентские показатели оценивают удовлетворенность клиентов, лояльность и рыночные позиции.

4. Финансовые показатели характеризуют экономические результаты деятельности предприятия.

Система ключевых показателей эффективности интеграции цифровых технологий в промышленное производство представлена в табл. 7 [26–28].

Таблица 7

Система показателей оценки эффективности интеграции цифровых технологий в промышленное производство

Группа показателей	Показатель	Формула расчета	Характеристика
Операционные показатели	Общая эффективность оборудования (<i>OEE</i>)	$OEE = \text{Доступность} \times \text{Производительность} \times \text{Качество}$	Интегральный показатель эффективности использования производственного оборудования
	Время выполнения заказа (<i>Lead Time</i>)	$LT = \text{Время от получения заказа до отгрузки готовой продукции}$	Характеризует скорость реакции производственной системы на рыночный спрос
	Уровень автоматизации производственных процессов	$UAP = \text{Количество автоматизированных операций} / \text{Общее количество операций} \times 100 \%$	Отражает степень внедрения автоматизированных и роботизированных систем
	Энергоэффективность производства	$EE = \text{Объем производства} / \text{Энергозатраты}$	Характеризует эффективность использования энергетических ресурсов
	Коэффициент использования материалов	$KIM = \text{Масса готовой продукции} / \text{Масса используемых материалов} \times 100 \%$	Отражает эффективность использования материальных ресурсов
Инновационные показатели	Время вывода нового продукта на рынок (<i>Time-to-Market</i>)	$TTM = \text{Время от начала разработки до коммерческого запуска}$	Характеризует скорость инновационного цикла
	Доля продукции, разработанной с использованием цифровых технологий	$DPPDT = \text{Объем продукции, разработанной с использованием цифровых технологий} / \text{Общий объем новой продукции} \times 100 \%$	Отражает роль цифровых технологий в инновационной деятельности
	Уровень цифровизации НИОКР	$URND = \text{Затраты на цифровые технологии в НИОКР} / \text{Общие затраты на НИОКР} \times 100 \%$	Характеризует интенсивность использования цифровых технологий в исследованиях и разработках
	Количество патентов в области цифровых технологий	$NPDT = \text{Количество полученных патентов в области цифровых технологий}$	Отражает результативность инновационной деятельности в сфере цифровых технологий
	Уровень кастомизации продукции	$UCP = \text{Количество модификаций продукта} / \text{Базовое количество продуктов}$	Характеризует способность к индивидуализации предложения на основе цифровых технологий

Окончание табл. 7

Группа показателей	Показатель	Формула расчета	Характеристика
Клиентские показатели	Индекс удовлетворенности клиентов	CSI = Средневзвешенная оценка удовлетворенности по ключевым атрибутам	Отражает уровень удовлетворенности клиентов продукцией и сервисами
	Доля рынка	MS = Объем продаж компании / Общий объем рынка $\times 100\%$	Характеризует конкурентные позиции на рынке
	Средний доход на клиента	$ARPC$ = Общая выручка / Количество клиентов	Отражает экономическую эффективность клиентских отношений
	Доля цифровых каналов в продажах	$DDCS$ = Объем продаж через цифровые каналы / Общий объем продаж $\times 100\%$	Характеризует развитие цифровых каналов взаимодействия с клиентами
	Индекс лояльности (Net Promoter Score)	NPS = % промоутеров - % критиков	Отражает готовность клиентов рекомендовать продукцию и услуги
Финансовые показатели	Рентабельность инвестиций в цифровые технологии	$ROIDT$ = Прибыль от внедрения цифровых технологий / Инвестиции в цифровые технологии $\times 100\%$	Характеризует экономическую эффективность инвестиций в цифровую трансформацию
	Доля цифровых продуктов и услуг в выручке	$DDPSR$ = Выручка от цифровых продуктов и услуг / Общая выручка $\times 100\%$	Отражает вклад цифровой составляющей в доходы предприятия
	Производительность труда	LP = Добавленная стоимость / Количество сотрудников	Характеризует эффективность использования трудовых ресурсов
	Экономический эффект от оптимизации процессов	$EEPO$ = Сокращение затрат + Рост доходов от оптимизации процессов	Отражает финансовые результаты оптимизации бизнес-процессов на основе цифровых технологий
	Добавленная стоимость на одного сотрудника	$VAPC$ = Добавленная стоимость / Численность персонала	Характеризует вклад персонала в создание добавленной стоимости

Предложенная система показателей позволяет комплексно оценить эффективность интеграции цифровых технологий и инновационных методов управления в промышленное производство, учитывая как прямые, так и косвенные эффекты цифровой трансформации. При этом важно учитывать, что значимость отдельных показателей может варьироваться в зависимости от отраслевой специфики, размера предприятия, уровня технологической зрелости и стратегических приоритетов.

Для интегральной оценки эффективности цифровой трансформации промышленного предприятия предлагается использовать метод взвешенных сумм, учитывающий относительную значимость различных групп показателей:

$$IE = \sum_{i=1}^n w_i \times I_i = \sum_{i=1}^n w_i \times \frac{\sum_{j=1}^{m_i} w_{ij} \times N_{ij}}{\sum_{j=1}^{m_i} w_{ij}},$$

где IE – интегральный показатель эффективности цифровой трансформации; w_i – весовой коэффициент i -й группы показателей; I_i – индекс эффективности по i -й группе показателей; w_{ij} – весовой коэффициент j -го показателя в i -й группе; N_{ij} – нормированное значение j -го показателя в i -й группе; n – общее количество групп показателей; m_i – количество показателей в i -й группе;

Индекс эффективности I_i по каждой группе рассчитывается как средневзвешенное значение нормированных показателей этой группы, что математически выражается дробью, где в числителе – сумма произведений весов на нормированные значения показателей, а в знаменателе – сумма весов.

Определение весовых коэффициентов может осуществляться с использованием экспертных методов (метод парных сравнений, метод ранжирования) или аналитических методов (факторный анализ, регрессионный анализ), в зависимости от доступности исходных данных и требуемой точности оценки.

Для практической реализации предложенного методического подхода разработан алгоритм оценки эффективности интеграции цифровых технологий в промышленное производство, представленный на рис. 3.

Предложенный алгоритм оценки эффективности интеграции цифровых технологий в промышленное производство имеет циклический характер, что обеспечивает возможность непрерывного совершенствования на основе регулярного мониторинга результатов и корректировки подходов к цифровой трансформации.

Апробация разработанного методического подхода на ряде промышленных предприятий различных отраслей позволяет выявить ключевые факторы,

определяющие эффективность интеграции цифровых технологий в промышленное производство:

1. Стратегическая согласованность – степень соответствия программы цифровой трансформации стратегическим целям и приоритетам предприятия.

2. Технологическая зрелость – уровень готовности технологической инфраструктуры к внедрению цифровых решений.

3. Организационная адаптивность – способность организационной структуры и корпоративной культуры адаптироваться к требованиям цифровой трансформации.

4. Компетентностная обеспеченность – наличие необходимых цифровых компетенций у персонала и менеджмента.

5. Интеграционная архитектура – наличие единой архитектуры, обеспечивающей интеграцию различных цифровых решений в комплексную экосистему.

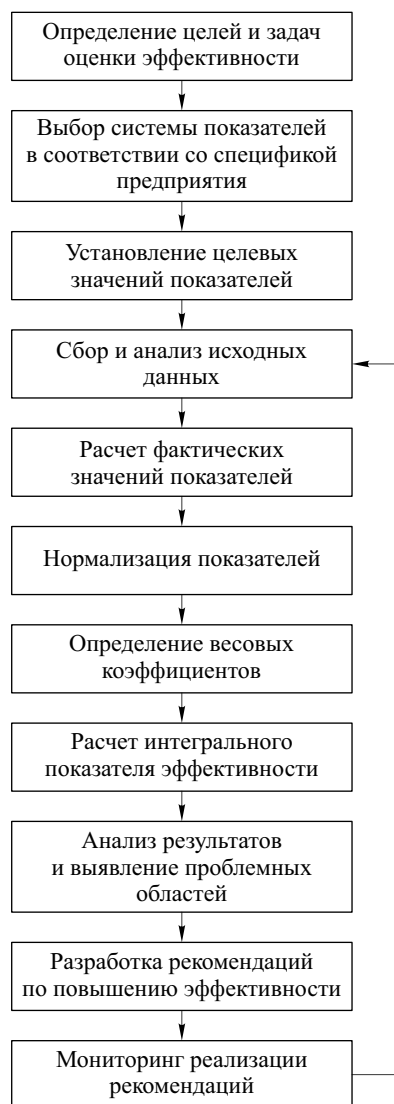


Рис. 3. Алгоритм оценки эффективности интеграции цифровых технологий в промышленное производство

Выводы. 1. В рамках первой задачи исследования проанализирована эволюция концептуальных подходов к организации промышленного производства и выявлены закономерности трансформации производственных парадигм в контексте технологических революций. Установлено, что каждый технологический уклад формирует соответствующую производственную парадигму с характерными организационно-экономическими механизмами, обеспечивающими эффективное использование доминирующих технологий. Современный этап развития промышленного производства (Индустрия 4.0) характеризуется конвергенцией физических и цифровых систем, формированием киберфизических производственных комплексов, развитием сетевых форм организации и платформенных бизнес-моделей. Ключевой закономерностью трансформации производственных парадигм является переход от оптимизации отдельных параметров производственной системы к комплексному преобразованию всех аспектов деятельности предприятия на основе цифровизации.

2. В рамках второй задачи систематизированы и классифицированы современные цифровые технологии и инновационные методы управления, применяемые в промышленном производстве, а также выявлены ключевые факторы эффективности их интеграции. Предложена классификация цифровых технологий промышленного назначения, включающая технологии проектирования и разработки продукции, технологии управления производственными процессами, технологии управления цепочками поставок и технологии взаимодействия с клиентами. Определены ключевые факторы эффективности интеграции цифровых технологий в промышленное производство: стратегическая согласованность, технологическая зрелость, организационная адаптивность, компетентностная обеспеченность и интеграционная архитектура. Показано, что наибольший эффект достигается при системном подходе к интеграции, обеспечивающем синергию технологических, организационных и экономических инноваций.

3. В рамках третьей задачи разработана концептуальная модель организационно-экономического механизма повышения эффективности промышленного производства на основе интеграции цифровых технологий и инновационных методов управления. Предложенная модель включает три взаимосвязанных контура – стратегический, управленческий и операционный, интегрированных на основе единой цифровой платформы. Определены ключевые компоненты каждого контура и принципы их взаимодействия, обеспечивающие повышение эффективности промышленного производства по четырем направ-

лениям: операционная эффективность, ресурсная эффективность, инновационная эффективность и рыночная эффективность. Представлена типология организационно-экономических механизмов в зависимости от уровня цифровой зрелости предприятия: традиционный, переходный, цифровой и интеллектуальный, что позволяет определить стратегические ориентиры трансформации в соответствии с текущим состоянием и целевыми установками предприятия.

4. В рамках четвертой задачи проведен анализ барьеров и ограничений цифровой трансформации промышленных предприятий, определены ключевые риски и возможности их минимизации. Выявлены и систематизированы барьеры технологического, организационного, экономического и стратегического характера, препятствующие эффективной интеграции цифровых технологий в промышленное производство. Определены основные категории рисков цифровой трансформации: технологические, операционные, экономические и стратегические, а также разработаны стратегии управления ими на основе проактивного подхода, интеграции риск-менеджмента в процессы стратегического и операционного планирования, формирования культуры осведомленности о рисках. Показано, что эффективное управление рисками требует сбалансированного подхода, учитывающего как необходимость инновационного развития, так и обеспечение устойчивости и безопасности производственных систем.

5. В рамках пятой задачи сформирован методический подход к оценке эффективности интеграции цифровых технологий и инновационных методов управления в промышленном производстве. Разработана система ключевых показателей эффективности, включающая четыре группы индикаторов: операционные, инновационные, клиентские и финансовые, что позволяет комплексно оценить результаты цифровой трансформации. Предложен алгоритм оценки эффективности интеграции цифровых технологий в промышленное производство, имеющий циклический характер и обеспечивающий возможность непрерывного совершенствования на основе регулярного мониторинга результатов. Разработана матрица приоритизации цифровых инициатив, позволяющая оптимизировать распределение ресурсов в соответствии с потенциальным влиянием на эффективность производства и сложностью реализации.

6. В рамках шестой задачи разработан стратегический инструментальный инструмент формирования организационно-экономического механизма цифровой трансформации промышленных предприятий с учетом отраслевой специфики и уровня технологической зрелости. Определены ключевые стратегические направления

повышения эффективности промышленного производства на основе интеграции цифровых технологий: интеллектуальное производство, цифровые цепочки поставок, персонализированное производство, сервитизация, цифровое управление жизненным циклом продукции, цифровая экосистема инноваций, гибкие организационные структуры, развитие цифровых компетенций. Разработана матрица стратегического позиционирования цифровой трансформации, позволяющая определить оптимальный подход к трансформации в зависимости от уровня технологической зрелости предприятия и интенсивности изменений на соответствующих рынках. Выявлены ключевые факторы успеха цифровой трансформации в разрезе пяти категорий: лидерство и стратегия, технологии и инфраструктура, люди и компетенции, процессы и методы, клиенты и партнеры.

7. Практическая реализация разработанных в исследовании концептуальных положений и методических рекомендаций будет способствовать повышению эффективности промышленного производства, формированию устойчивых конкурентных преимуществ предприятий и ускорению цифровой трансформации российской промышленности в условиях глобальных технологических вызовов.

Список литературы

1. Заступов А. В. Развитие промышленных кластеров через формирование цифровых инноваций // Бизнес. Образование. Право. 2021. № 1 (54). С. 153–158.
2. Наугольнова И. А., Минин А. А. Интеграция цифровых инноваций в развитие предприятий топливно-энергетической промышленности // Информатизация в цифровой экономике. 2023. Т. 4. № 4. С. 395–406.
3. Гнатышина Е. И., Миронова Е. А. Анализ и перспективы цифровой трансформации инновационной деятельности регионального промышленного комплекса // Естественно-гуманитарные исследования. 2024. № 2 (52). С. 86–90.
4. Мугутдинов Р. М., Горовой А. А. Особенности цифровой трансформации в промышленности // Вестник Академии знаний. 2022. № 48 (1). С. 216–225.
5. Толкачев С. А., Удалов И. Д., Темукеев С. А. Цифровизация обрабатывающей промышленности стран ЕС: приоритет развития киберфизических систем // Современная Европа. 2022. № 1 (108). С. 169–183.
6. Ваславский Я. И., Ваславская И. Ю. О возможностях реализации преимуществ четвертой промышленной революции в системобразовании экономики и общества // Теория и практика общественного развития. 2024. № 1 (189). С. 77–86.
7. Андрианов А. М. Анализ технологий комплексной цифровизации высокотехнологичного промышленного производства в условиях парадигмы «Индустрия 4.0» // Научные труды Вольного экономического общества России. 2021. Т. 228. № 2. С. 298–317.

8. Мальцев А. А. От третьей промышленной революции – к четвертой (сравнительный обзор концепций) // *AlterEconomics*. 2022. Т. 19. № 1. С. 131–146.

9. Орехова С. В., Завьялова М. Ю. Устойчивое развитие промышленного предприятия в условиях глобальных изменений // *Менеджмент и предпринимательство в парадигме устойчивого развития*: мат-лы IV Междунар. науч.-практич. конф. Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет. 2021. С. 156–159.

10. Кохно П. Инновационная модель мирового промышленного производства // *Интеллектуальная собственность. Промышленная собственность*. 2021. № 12. С. 23–30.

11. Хоменко Е. Б., Злобина Е. Ю. Организационно-экономические аспекты управления цифровой трансформацией промышленных предприятий // *Вестник Удмуртского университета. Серия Экономика и право*. 2023. Т. 33. № 6. С. 1013–1018.

12. Вертакова Ю. В., Положенцева Ю. С., Масленникова В. В. Трансформация промышленности в условиях цифровизации экономики: тренды и особенности реализации // *Экономика и управление*. 2021. Т. 27. № 7 (189). С. 491–503.

13. Селиверстова Н. С., Шкутько О. Н., Григорьева О. В. Структурные изменения среднетехнологичных отраслей экономики в условиях цифровой трансформации промышленности // *Russian Journal of Economics and Law*. 2023. Т. 17. № 3. С. 532–547.

14. Андреева Ж. В. Цифровая трансформация в практике промышленных предприятий: определение уровня цифровой зрелости предприятия // *Бизнес-планирование хозяйствующих субъектов в условиях экономических санкций*: Мат-лы Междунар. науч.-практич. конф. М.: Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова. 2024. С. 6–11.

15. Донцова О. И. Цифровая трансформация промышленных кластеров // *Экономика, предпринимательство и право*. 2023. Т. 13. № 11. С. 4929–4942.

16. Соболев А. Д. Инструментарий оценки цифровой зрелости организации // *Вестник Удмуртского университета. Серия Экономика и право*. 2025. Т. 35. № 1. С. 80–85.

17. Karikova A. S. Overcoming the barriers to the digital transformation of industrial enterprises through the mechanism of a business model selection // *Стратегические решения и риск-менеджмент*. 2023. Vol. 14. № 1. Pp. 74–85.

18. Камчатова Е. Ю., Кытина А. В. Ключевые барьеры цифровой трансформации промышленных предприятий Российской Федерации // *Цифровая трансформация промышленности: новые горизонты*: сб. науч. тр. по мат-лам 3-й Всеросс. науч.-практич. конф. М.: Русайнс. 2022. Т. 1. С. 223–229.

19. Шинкевич А. И., Идрисов А. Э. Основные вызовы и проблемы цифровой трансформации в условиях укрепления технологического суверенитета // *E-Management*. 2023. Т. 6. № 3. С. 51–58.

20. Темников А. О., Подшивалова М. В. Цифровая трансформация промышленности: выгоды, затраты и риски // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент*. 2022. Т. 16. № 2. С. 122–131.

21. Фролов В. Г., Сидоренко Ю. А., Мартынова Т. С. Формирование модели оценки и предупреждения рисков в условиях цифровизации промышленных предприятий // *Экономика, предпринимательство и право*. 2021. Т. 11. № 6. С. 1547–1562.

22. Зайковский В. Э., Карев А. В., Малик А. А., Штейгер М. А. Риски цифровой трансформации промышленного предприятия // *Проблемы анализа риска*. 2021. Т. 18. № 5. С. 48–55.

23. Третьяков Н. А., Череповицын А. Е. Формирование организационно-экономического механизма развития цифровых технологий в нефтегазовом секторе // *Дружковский вестник*. 2022. № 3 (47). С. 64–82.

24. Майоров С. В., Батова М. М., Баранов В. В. Стратегия и организационно-экономический механизм цифровой трансформации предприятий машиностроительного кластера Республики Татарстан // *Международный форум Kazan Digital Week-2022*: сб. мат-лов Междунар. форума. Казань: Научный центр безопасности жизнедеятельности. 2022. С. 204–214.

25. Голубицкая А. А. Цифровая трансформация промышленности: особенности и необходимость // *Ресурсосбережение. Эффективность. Развитие*: мат-лы VI Междунар. науч.-практич. конф. Донецк: Донецкий национальный технический университет. 2021. С. 345–349.

26. Абдикеев Н. М., Кожевина О. В. Оценка готовности российских промышленных предприятий к цифровой интеграции в новых экономических условиях // *Мир новой экономики*. 2022. Т. 16. № 4. С. 45–53.

27. Устинова О. Е. Формирование стратегии цифровой трансформации промышленных предприятий // *Вопросы инновационной экономики*. 2022. Т. 12. № 3. С. 1427–1442.

28. Афанасьев А. А., Проворова И. П., Файзуллин Р. В. Спрос промышленного производства на цифровые технологии: глобальные тренды и российская реальность // *Московский экономический журнал*. 2022. Т. 7. № 10.

29. Морковкин Д. Е., Шихалиева Д. С., Алеева Г. И., Петрушевич Т. В. Развитие механизмов принятия управленческих решений на основе технологий искусственного интеллекта и больших данных // *Вестник евразийской науки*. 2025. Т. 17. № S1.

30. Чупин А. Л., Засько В. Н., Морковкин Д. Е., Донцова О. И. Модель роста экономики региона на основе индекса экономической сложности // *Финансы: теория и практика*. 2024. Т. 28. № 3. С. 52–60.

31. Tolkachev S. A., Bykov A. A., Morkovkin D. E. et al. Digitalization of manufacturing in Russia, Belarus and the European Union // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: conference proceedings*. Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited. 2020. Vol. 421. Pp. 032041.

32. Shvets Yu., Perskaya V., Tao I. et al. Development of Software for the Analysis of Socio-Economic Indicators Based on Neural Networks // *Digital and Information Technologies in Economics and Management: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Cham: Springer Nature Switzerland AG. 2024. Pp. 49–65.

33. Жумаксанов Е. Ш., Ержанов А. Т. Проблемы защиты персональных данных клиентов // *Цифровизация*

экономики и общества: проблемы, перспективы, безопасность: мат-лы междунар. науч.-практич. конф. Донецк: Цифровая типография. 2019. Т. 2. С. 71–73.

34. Майсигова Л. А. Повышение цифровой грамотности аудиторов в условиях новой реальности // Мировая глобализация: фундаментальные и прикладные аспекты: сб. тр. по мат-лам X Междунар. науч.-практич. конф. М.: Центр развития образования и науки. 2024. С. 77–79.

35. Александрова Т. Я., Андреева Л. Ю. Разработка государственных мер антикризисного финансового регулирования: мировой опыт // Наука и образование: хозяйство и экономика; предпринимательство; право и управление. 2020. № 6 (121). С. 21–26.

References

1. Zastupov A. V. Development of Industrial Clusters through the Formation of Digital Innovations. *Business. Education. Law.*, 2021, no. 1 (54), pp. 153–158.
2. Naugolnova I. A., Minin A. A. Integration of Digital Innovations into the Development of Enterprises in the Fuel and Energy Industry. *Informatization in the Digital Economy*, 2023, vol. 4, no. 4, pp. 395–406.
3. Gnatyshina E. I., Mironova E. A. Analysis and Prospects of Digital Transformation of Innovative Activities of the Regional Industrial Complex. *Natural Sciences and Humanities*, 2024, no. 2 (52), pp. 86–90.
4. Mugutdinov R. M., Gorovoy A. A. Features of Digital Transformation in Industry. *Bulletin of the Academy of Knowledge*, 2022, no. 48 (1), pp. 216–225.
5. Tolkachev S. A., Udalov I. D., Temukuev S. A. Digitalization of the Manufacturing Industry of the EU Countries: Priority of Cyber-Physical Systems Development. *Modern Europe*, 2022, no. 1 (108), pp. 169–183.
6. Vaslavsky Ya. I., Vaslavskaya I. Yu. On the Possibilities of Realizing the Advantages of the Fourth Industrial Revolution in the System Formation of the Economy and Society. *Theory and Practice of Social Development*, 2024, no. 1 (189), pp. 77–86.
7. Andrianov A. M. Analysis of Technologies for Comprehensive Digitalization of High-Tech Industrial Production in the Context of the Industry 4.0 Paradigm. *Scientific Works of the Free Economic Society of Russia*, 2021, vol. 228, no. 2, pp. 298–317.
8. Maltsev A. A. From the Third Industrial Revolution to the Fourth (a comparative review of concepts). *AlterEconomics*, 2022, vol. 19, no. 1, pp. 131–146.
9. Orekhova S. V., Zavyalova M. Yu. Sustainable Development of Industrial Enterprises in the Context of Global Change. *Management and Entrepreneurship in the Sustainable Development Paradigm: Proc. IV Intern. Scientific and Practical Conf.* Ekaterinburg, Ural State University of Economics, 2021, pp. 156–159.
10. Kokhno P. Innovative Model of Global Industrial Production. *Intellectual Property. Industrial Property*, 2021, no. 12, pp. 23–30.
11. Khomenko E. B., Zlobina E. Yu. Organizational and economic aspects of managing the digital transformation of industrial enterprises. *Bulletin of Udmurt University. Series Economics and Law*, 2023, vol. 33, no. 6, pp. 1013–1018.
12. Vertakova Yu. V., Polozhentseva Yu. S., Maslennikova V. V. Transformation of industry in the context of digitalization of the economy: trends and features of implementation. *Economics and Management*, 2021, vol. 27, no. 7 (189), pp. 491–503.
13. Seliverstova N. S., Shkutko O. N., Grigorieva O. V. Structural changes in medium-tech sectors of the economy in the context of digital transformation of industry. *Russian Journal of Economics and Law*, 2023, vol. 17, no. 3, pp. 532–547.
14. Andreeva Zh. V. Digital transformation in the practice of industrial enterprises: determining the level of digital maturity of an enterprise. *Business planning of economic entities under economic sanctions: Proc. of the Int. scientific and practical conf.* Moscow, Plekhanov Russian University of Economics, 2024, pp. 6–11.
15. Dontsova O. I. Digital transformation of industrial clusters. *Economy, Entrepreneurship and Law*, 2023, vol. 13, no. 11, pp. 4929–4942.
16. Sobolev A. D. Tools for assessing the digital maturity of an organization. *Bulletin of Udmurt University. Series Economy and Law*, 2025, vol. 35, no. 1, pp. 80–85.
17. Karikova A. S. Overcoming the barriers to the digital transformation of industrial enterprises through the mechanism of a business model selection. *Strategic decisions and risk management*, 2023, vol. 14, no. 1, pp. 74–85.
18. Kamchatova E. Yu., Kytina A. V. Key barriers to the digital transformation of industrial enterprises of the Russian Federation. *Digital transformation of industry: new horizons: collection of scientific papers on the materials of the 3rd All-Russian scientific and practical conf.* Moscow, Rusains, 2022, vol. 1, pp. 223–229.
19. Shinkevich A. I., Idrisov A. E. Main Challenges and Problems of Digital Transformation in the Context of Strengthening Technological Sovereignty. *E-Management*, 2023, vol. 6, no. 3, pp. 51–58.
20. Temnikov A. O., Podshivalova M. V. Digital Transformation of Industry: Benefits, Costs, and Risks. *Bulletin of South Ural State University. Series: Economics and Management*, 2022, vol. 16, no. 2, pp. 122–131.
21. Frolov V. G., Sidorenko Yu. A., Martynova T. S. Formation of a Model for Risk Assessment and Prevention in the Context of Digitalization of Industrial Enterprises. *Economy, Entrepreneurship and Law.*, 2021, vol. 11, no. 6, pp. 1547–1562.
22. Zaikovskiy V. E., Karev A. V., Malik A. A., Shteiger M. A. Risks of Digital Transformation of an Industrial Enterprise. *Problems of Risk Analysis*, 2021, vol. 18, no. 5, pp. 48–55.
23. Tretyakov N. A., Cherepovitsyn A. E. Formation of an Organizational and Economic Mechanism for the Development of Digital Technologies in the Oil and Gas Sector. *Drucker Bulletin*, 2022, no. 3 (47), pp. 64–82.
24. Mayorov S. V., Batova M. M., Baranov V. V. Strategy and organizational and economic mechanism of digital transformation of enterprises of the mechanical engineering cluster of the Republic of Tatarstan. *International forum Kazan*

Digital Week-2022: collection of materials of the International forum. Kazan: Scientific center for life safety, 2022, pp. 204–214.

25. Golubitskaya A. A. Digital transformation of industry: features and necessity. *Resource saving. Efficiency. Development: materials of the VI International scientific and practical conf.* Donetsk, Donetsk National Technical University, 2021, pp. 345–349.

26. Abdikeyev N. M., Kozhevina O. V. Assessment of the readiness of Russian industrial enterprises for digital integration in the new economic conditions. *The world of the new economy*, 2022. Vol. 16, no. 4, pp. 45–53.

27. Ustinova O. E. Formation of a Digital Transformation Strategy for Industrial Enterprises. *Issues of Innovative Economics*, 2022, vol. 12, no. 3, pp. 1427–1442.

28. Afanasyev A. A., Provorova I. P., Fayzullin R. V. Industrial Production Demand for Digital Technologies: Global Trends and Russian Reality. *Moscow Economic Journal*, 2022, vol. 7, no. 10.

29. Morkovkin D. E., Shikhalieva D. S., Aleeva G. I., Petrusevich T. V. Development of Management Decision-Making Mechanisms Based on Artificial Intelligence and Big Data Technologies. *Bulletin of Eurasian Science*, 2025, vol. 17, no. S1.

30. Chupin A. L., Zas'ko V. N., Morkovkin D. E., Dontsova O. I. A Model of Regional Economic Growth Based on the Economic Complexity Index. *Finance: Theory and Practice*, 2024, vol. 28, no. 3, pp. 52–60.

31. Tolkachev S. A., Bykov A. A., Morkovkin D. E. et al. Digitalization of Manufacturing in Russia, Belarus, and the European Union. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Conference Proceedings*. Krasnoyarsk, Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020, vol. 421, pp. 032041.

32. Shvets Yu., Perskaya V., Tao I. et al. Development of Software for the Analysis of Socio-Economic Indicators Based on Neural Networks. *Digital and Information Technologies in Economics and Management: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Cham, Springer Nature Switzerland AG, 2024, pp. 49–65.

33. Zhumaksanov E. Sh., Erzhanov A. T. Problems of Protecting Clients' Personal Data. *Digitalization of the Economy and Society: Problems, Prospects, Security: Proceedings of the International Scientific and Practical Conf.* Donetsk, Digital Typography, 2019, vol. 2, pp. 71–73.

34. Maisigova L. A. Improving the Digital Literacy of Auditors in the New Reality. *World Globalization: Fundamental and Applied Aspects: Collection of Papers on the Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conf.* Moscow, Center for the Development of Education and Science, 2024, pp. 77–79.

35. Aleksandrova T. Ya., Andreeva L. Yu. Development of state measures of anti-crisis financial regulation: global experience. *Science and education: economy and economics; entrepreneurship; law and management*, 2020, no. 6 (121), pp. 21–26.

УДК

С. В. КУРОВСКИЙ, Д. А. МИШИН (ООО «Высшая Школа Образования», г. Одинцово); О. О. АРУТЮНЯН (НИУ ВШЭ, г. Москва)

E-mail: 8917564@gmail.com

S. V. Kurovsky, D. A. Mishin (Higher School of Education LLC, Odintsovo); O. O. Arutyunyan (HSE University, Moscow)

Стратегический менеджмент инноваций: правовые аспекты трансфера технологий в университетах

Strategic innovation management: legal aspects of technology transfer at universities

Исследуются правовые аспекты трансфера технологий в университетах в рамках стратегического менеджмента. Рассмотрены подходы к формированию портфеля патентов в университетах, представлены основные модели развития инноваций в рамках взаимодействия университетов и бизнеса, выявлены особенности правового регулирования взаимодействия университетов и бизнеса в рамках менеджмента инноваций, а также установлены ключевые проблемы взаимодействия университетов и бизнеса в рамках менеджмента инноваций.

This article examines the legal aspects of technology transfer at universities within the framework of strategic management. Approaches to building patent portfolios at universities are examined, the main models of innovation development within the framework of university-business interaction are presented, the specifics of legal regulation of university-business interaction within the framework of innovation management are identified, and key issues of university-business interaction within the framework of innovation management are identified.

Ключевые слова: университеты; инновации; передача технологий; трансфер технологий; стратегический менеджмент; правовое регулирование; портфель патентов; бизнес; взаимодействие.

Keywords: universities; innovation; technology transfer; technology transfer; strategic management; legal regulation; patent portfolio; business; interaction.

Актуальность стратегического менеджмента инноваций в университетах

В настоящее время признание высшего образования в качестве ключевого драйвера устойчивого развития широко распространено, однако стратегическая интеграция принципов устойчивого развития университетами для получения ими конкурентных преимуществ и поддержки заинтересованных сторон изучена в недостаточной степени [1]. Между тем, современное развитие инновационных процессов определяет значимость университетов в роли активных участников трансфера технологий, что оказывает влияние на формирование конкурентоспособной экономики. Динамика цифровизации и трансграничных сделок обуславливает правовое урегулирование взаимодействия научно-образовательных учреждений и бизнеса за счет четкого структурирования патентного портфеля и реализации стратегий менеджмента инноваций. Научные разработки университетов обуславливают потребность в формировании надежной нормативно-правовой базы, способной оптимизировать трансфер технологий, что стимулирует появление новых форм сотрудничества между представителями академической среды и коммерческого сектора. Правовые аспекты стратегического менеджмента инноваций определяют рамки формирования патентной стратегии и улучшают условия для внедрения инновационных решений, что в совокупности формирует потенциал устойчивого развития университетов.

Стратегический менеджмент инноваций – важнейший инструмент, определяющий юридические механизмы трансфера технологий, в то время как оптимизация взаимодействия университетов и бизнеса оказывает положительное влияние на экономическую эффективность и развитие инновационной инфраструктуры [2]. Выявленные закономерности обосновывают постановку задачи исследования с определением путей правового регулирования, что способствует разработке новых механизмов взаимодействия между университетами и бизнесом.

Научная новизна исследования заключается в обосновании значимости стратегического менеджмента инноваций для оптимизации правового регулирования трансфера технологий в университетах, что выражается в выявлении ключевых организационных-

правовых барьеров, влияющих на эффективность взаимодействия с бизнесом.

Университеты как драйверы инноваций

С момента принятия во второй половине XX века фундаментальных законов Бэя-Доула и Стивенсона-Уайдлера в США в университетах всего мира произошло существенное увеличение патентования, лицензирования, стартапов и сотрудничества с бизнесом и промышленностью [3]. Университеты и научно-исследовательские институты стали драйверами инноваций. В рамках взаимодействия с промышленностью и бизнесом они исполняют идентичные функции, поскольку их миссия включает в себя исследования, разработки и инновации, что способствует сохранению рыночной конкурентоспособности частного сектора за счет создания новых технологических решений и подготовки квалифицированных специалистов. Совместное сотрудничество создает продукты, процессы и услуги, оказывающие влияние на качество жизни и формирующие экономические выгоды, а наличие творческих идей и молодых талантов в академической среде открывает возможности для комплексного решения актуальных проблем [4]. Интеграция усилий университетов как научных учреждений и бизнеса обуславливает возникновение эффективных механизмов трансфера (передачи) технологий, что стимулирует поиск инноваций в глобальном масштабе, которые обеспечивают развитие инновационной инфраструктуры. При этом активную роль в стимулировании предпринимательских возможностей университетов за исключением конкретных случаев лицензирования и спин-офф компаний играют офисы трансфера технологий (*technology transfer offices*; ОТТ) и, особенно, «более старые, стратегически автономные» ОТТ [5].

В условиях динамичного развития цифровых технологий и трансграничных сделок академическая среда выступает источником новых идей, что открывает возможности для взаимодействия с бизнесом посредством обмена знаниями и ресурсами. Рост цифровизации определяет появление новых юридических механизмов, что формирует базу для трансфера технологий, а синергия между университетами и коммерческим сектором обеспечивает условия для реализации стратегического менеджмента иннова-

Таблица 1

Ключевые направления цифровой трансформации университетов

Направление	Содержание
Преподавание	Педагогика цифровых социальных инноваций; цифровая грамотность; просвещение в области целей устойчивого развития; 3D-платформы, виртуальные симуляторы, открытые образовательные ресурсы типа массовых открытых онлайн-курсов (MOOC)
Исследования	Цифровые социальные инновации; формирование новых социальных инноваций; использование инструментов искусственного интеллекта (ИИ); новые цифровые и зеленые стартапы и спин-оффы
Отношения с внешними заинтересованными сторонами	Участие заинтересованных сторон (общественности, местных сообществ) в зеленой и цифровой деятельности посредством гражданской науки; обучение в сфере услуг; программы социального предпринимательства; живые лаборатории, научные магазины и др.
Совместное создание и ведение проектов с заинтересованными сторонами	Университеты как открытые системы по отношению к окружающей среде; совместное создание и реализация проектов в области устойчивого развития («зеленые» и цифровые исследования) и др.

ций, что служит основой для устойчивого развития инновационной системы.

В настоящее время, в контексте индустрии 4.0, а также в контексте активно формирующейся индустрии 5.0 можно определить четыре ключевых направления цифровой трансформации университетов, которые, как предполагается, в ближайшем будущем должны быть более социально вовлеченными (см. табл. 1) [4, 6].

Указанные направления цифровой трансформации университетов создают предпосылки для развития комплексной правовой системы, что обуславливает возникновение менеджмента патентного портфеля в университетах как ключевого элемента реализации инновационных стратегий.

Подходы к формированию портфеля патентов в университетах

Менеджмент патентного портфеля в университетах представляет собой ключевой механизм, который определяет юридическую основу для коммерциализации научных разработок и способствует выработке стратегических ориентиров в сфере инноваций. Университеты сталкиваются с необходимостью выстраивания системы защиты интеллектуальной собственности, что обуславливает формирование единой политики в области патентования [7]. Систематизация и структурирование портфеля патентов выступают важнейшими инструментами в условиях современного конкурентного рынка, которые определяют возможности университетов по привлечению инвестиций и взаимодействию с бизнесом посредством правовых механизмов трансфера технологий. В этом отношении можно выделить три стратегических подхода к формированию портфеля патентов в университетах: наступательный, оборонительный и комбинированный.

Наступательная патентная стратегия предполагает активное продвижение новейших разработок в

правовом поле для обеспечения монопольных прав и укрепления позиций на технологическом рынке. Создаваемые при университетах инновационные центры выстраивают политику, которая направлена на максимизацию охвата патентной защиты, что способствует формированию базы для будущей коммерциализации научных результатов. Применение наступательной стратегии характеризуется ориентацией на активное использование интеллектуальной собственности в целях формирования устойчивого конкурентного преимущества [8], обуславливающего необходимость интеграции правовых и управленческих инструментов.

Оборонительная патентная стратегия основывается на сохранении существующего портфеля в условиях защиты от правовых вызовов и внешней конкуренции, что определяет выбор мер, способствующих уменьшению рисков утраты технологического потенциала университета. Университеты формируют комплекс мер, который обеспечивает правовую защиту результатов научной деятельности, что формирует основу для устойчивого взаимодействия с отраслевыми партнерами.

В рамках комбинированных стратегий интегрируются элементы как наступательной, так и оборонительной политики, что ведет к формированию баланса в области управления патентным портфелем и позволяет реализовать потенциал университетов в условиях динамичного развития инновационной цифровой среды.

Следует отметить, что стратегию можно трактовать как целостное единство обязательств и мер, обладающих направленностью на применение ключевых компетенций, которое обуславливает приобретение университетом конкурентного преимущества. Стратегический менеджмент представляет собой комплексный процесс, включающий в себя осуществляемый высшим менеджментом анализ внешней и внутренней среды университета, формулировку стра-

тегических установок, а также разработку плана реализации с механизмами контроля за достижением поставленных целей.

Однако в контексте трансфера технологий как сложного итеративного процесса с несколькими потенциальными каналами, объединение различных источников финансовых инноваций, обеспечивающих такой трансфер, в стандартную структуру является непростой задачей [9].

Основные модели развития инноваций при взаимодействии университета и бизнеса

Следует отметить, что в сфере инноваций взаимодействие между университетом и бизнесом в принципе может реализовываться по-разному. В научной литературе можно выделить пять основных модели: линейную, модель цепного взаимодействия, модель тройной спирали (*Triple Helix*), модель открытых инноваций и модель университетского предпринимательства (см. табл. 2) [10, 11].

В настоящее время бизнес в рамках трансфера технологий университетов занимает важнейшее положение, поскольку выступает в качестве партнера (заинтересованной стороны), предоставляющий финансовые ресурсы и управленческий опыт для коммерциализации научных разработок. Взаимодействие академической среды и коммерческого сектора формирует базу для интеграции результатов научной деятельности в рыночные процессы посредством создания правовых механизмов, обеспечивающих защиту интеллектуальной собственности и стимулирующих развитие технологических инноваций.

Деятельность коммерческого сектора оказывает влияние на совершенствование процессов трансфера технологий за счет применения современных методов оценки потенциала рынка и формирования

устойчивых партнерских отношений. Участие бизнеса проявляется в активной оценке и коммерциализации результатов исследований на основе заключения лицензионных соглашений и создания совместных предприятий, что определяет перспективы развития инновационной системы за счет формирования правовой базы и внедрения эффективных управленческих практик.

Особенности правового регулирования взаимодействия университетов и бизнеса в рамках менеджмента инноваций

Правовые рамки взаимодействия университетов и бизнеса в сфере инновационного менеджмента определяют общую структуру регулирования отношений, что обуславливает создание юридических механизмов для защиты интеллектуальной собственности и коммерциализации научных результатов [12].

Правовое регулирование взаимодействия университетов и бизнеса в сфере менеджмента инноваций основывается на необходимости создания нормативной среды, которая обеспечивает баланс интересов обеих сторон. Университеты, как кузницы знаний, нуждаются в эффективных юридических механизмах для защиты результатов интеллектуальной деятельности, в то время как бизнес-структуры ориентированы на коммерциализацию научных разработок и уменьшение рисков, связанных с внедрением инноваций в экономическую деятельность. Сочетание этих интересов формирует основу для правового регулирования, в рамках которого ключевую роль играют различные договорные конструкции, регулирующие передачу прав на интеллектуальную собственность, условия использования научных результатов и распределение прибыли от их коммерческого использования.

Таблица 2

Основные модели взаимодействия между университетом и бизнесом

Модель	Суть	Ключевые действия университетов в области трансфера технологий
Линейная модель инноваций	Последовательное движение от фундаментальных исследований к коммерциализации	Проведение фундаментальных исследований, развитие прикладных разработок, передача технологий бизнесу
Модель цепного взаимодействия	Нелинейное взаимодействие с постоянным обменом информацией	Совместная разработка технологий, адаптация исследований к требованиям рынка, организация сотрудничества
Модель тройной спирали (<i>Triple Helix</i>)	Равноправное участие университетов, бизнеса и государства	Генерация знаний, инкубация инновационных идей, обеспечение лицензионных соглашений
Модель открытых инноваций	Использование внешних источников знаний и формирование партнерств	Проведение совместных исследований, участие в инновационных проектах, реализация совместных разработок
Модель университетского предпринимательства	Активное участие в экономическом развитии посредством создания стартапов	Создание технологических парков, развитие бизнес-инкубаторов, поддержка спин-офф компаний

Следует подчеркнуть, что динамика развития инновационной экономики способствует усложнению правовых механизмов, регулирующих формы взаимодействия университетов и бизнеса. Так, в условиях глобализации и цифровизации возрастает значение международных правовых норм и стандартов, которые определяют правила трансфера технологий за пределы национальных юрисдикций, что требует согласования национальных правовых систем с международными соглашениями и практиками, которое обеспечивает правовую предсказуемость и защищенность участников инновационного процесса. Важное значение приобретает правовое регулирование трансграничного обмена знаниями, в рамках которого основное внимание уделяется вопросам соблюдения прав интеллектуальной собственности и предотвращения недобросовестного использования результатов исследований.

Эффективность правового регулирования во многом зависит от гибкости юридических механизмов, способных адаптироваться к меняющимся условиям научно-технического прогресса. Университеты и бизнес нуждаются в правовых инструментах, которые позволяют фиксировать условия сотрудничества и учитывать возможные изменения в процессе реализации совместных проектов. В этой связи важную роль играют механизмы предварительного согласования условий и адаптивные модели договорных отношений, которые позволяют оперативно реагировать на изменения в технологической и рыночной среде. В юридической практике в области инновационного менеджмента формируются новые подходы к регулированию интеллектуальной собственности, которые способствуют созданию более надежных правовых конструкций, оптимизирующих процессы коммерциализации [13].

Для развития правового регулирования взаимодействия университетов и бизнеса требуется комплексный подход, учитывающий не только правовые, но и организационно-экономические аспекты сотрудничества. Создание и развитие эффективных моделей взаимодействия предполагает наличие такой институциональной среды, которая способствует формированию доверия между участниками инновационного процесса. Правовые нормы должны обеспечивать защиту прав на результаты интеллектуальной деятельности и стимулировать развитие партнерских отношений, способствующих интеграции научных исследований в экономику. Тем не менее, несмотря на общий контекст цифровой трансформации бизнеса, в рамках менеджмента инноваций между университетами и бизнесом остаются нерешенными многие проблемы.

Ключевые проблемы взаимодействия университетов и бизнеса в рамках менеджмента инноваций

Взаимодействие университетов и бизнеса в контексте менеджмента инноваций сталкивается с рядом структурных проблем, которые коренятся в различии целей и приоритетов обеих сторон. Так, университеты ориентированы на создание новых знаний и развитие научного потенциала, в то время как для бизнеса более важным является коммерческое применение научных разработок для получения прибыли. Данное расхождение приводит к несоответствию ожиданий и затрудняет выработку эффективных механизмов сотрудничества. Для достижения сбалансированного партнерства требуется согласование научных интересов с коммерческими задачами, а также повышение восприятия ценности взаимодействия.

Усугубляет разрыв и проблема правовой неопределенности в области регулирования трансфера технологий. Так, недостаточная разработанность нормативных актов, регулирующих вопросы интеллектуальной собственности, порождает связанные с распределением прав на результаты совместной деятельности риски. Недостаточно определенные условия владения и использования научных разработок становятся препятствием для эффективной коммерциализации инноваций, что снижает привлекательность университетских проектов для инвесторов. Отсутствие единых правовых стандартов в вопросах защиты интеллектуальной собственности также затрудняет формирование доверительных отношений между данными заинтересованными сторонами.

Ограниченность как материальных, так и организационных ресурсов представляет собой еще одну значимую проблему взаимодействия. Университеты нередко сталкиваются с нехваткой финансовых средств для проведения прикладных исследований и доведения разработок до стадии готовности к рынку. В свою очередь бизнес не всегда готов инвестировать в проекты с высокой степенью научной новизны вследствие связанных с ними рисков. Нехватка специализированных институтов, способных выполнять роль посредников между академической и коммерческой средами, в частности, бизнес-инкубаторов, приводит к низкому уровню координации совместных инициатив. Негативное влияние на эффективность сотрудничества также оказывает недостаточный уровень компетенций в области управления инновациями с обеих сторон. Представители академической среды не всегда обладают необходимыми знаниями в области предпринимательства и коммерциализации технологий, в то время как бизнес может испытывать дефицит понимания научных процессов и специфики

научных исследований. В результате отсутствие квалифицированных специалистов, способных эффективно координировать совместные проекты, снижает результативность взаимодействия. Тем не менее, в последнее время бизнес-инкубаторы в университетах становятся важным инструментом ускорения предпринимательства [14].

Список литературы

1. Giovanelli L., Rotondo F., Ezza A. Business models for integration of sustainability in universities: An explorative analysis of Italian state universities // *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 324. Pp. 1–12.
2. De Moortel K., Crispeels T. International university-university technology transfer: Strategic management framework // *Technological Forecasting and Social Change*. 2018. Vol. 135. Pp. 145–155.
3. Siegel D. S., Guerrero M. The impact of quarantines, lockdowns, and 'reopenings' on the commercialization of science: micro and macro issues // *Journal of Management Studies*. 2021. Vol. 58. № 5. Pp. 1389–1394.
4. Rossoni A. L., de Vasconcellos E. P. G., de Castilho Rossoni R. L. Barriers and facilitators of university-industry collaboration for research, development and innovation: a systematic review // *Management Review Quarterly*. 2024. Vol. 74. № 3. Pp. 1841–1877.
5. Bolzani D. et al. Technology transfer offices as providers of science and technology entrepreneurship education // *The Journal of Technology Transfer*. 2021. Vol. 46. Pp. 335–365.
6. Morawska-Jancelewicz J. The role of universities in social innovation within quadruple/quintuple helix model: Practical implications from polish experience // *Journal of the Knowledge Economy*. 2022. Vol. 13. № 3. Pp. 2230–2271.
7. Grimaldi M., Greco M., Cricelli L. A framework of intellectual property protection strategies and open innovation // *Journal of Business Research*. 2021. Vol. 123. Pp. 156–164.
8. Feola R., Parente R., Cucino V. The entrepreneurial university: How to develop the entrepreneurial orientation of academia // *Journal of the Knowledge Economy*. 2021. Vol. 12. Pp. 1787–1808.
9. Fischer B. et al. Knowledge transfer for frugal innovation: where do entrepreneurial universities stand? // *Journal of Knowledge Management*. 2021. Vol. 25. № 2. Pp. 360–379.
10. Cai Y., Amaral M. The triple helix model and the future of innovation: A reflection on the triple helix research agenda // *Triple Helix*. 2021. Vol. 8. № 2. Pp. 217–229.
11. Zakharov P. N., Posazhennikov A. A., Zakharova Z. A. Open innovations as a tool of interaction between universities and business structures in the digital economy // *Digital Economy: Complexity and Variety vs. Rationality 9*. Springer International Publishing. 2020. Pp. 301–306.
12. Galan-Muros V., Davey T. The UBC ecosystem: putting together a comprehensive framework for university-business cooperation // *The Journal of Technology Transfer*. 2019. Vol. 44. Pp. 1311–1346.
13. Kezar A., Bernstein-Sierra S. Commercialization of higher education // *Second handbook of academic integrity*. Cham, Springer Nature Switzerland, 2024. Pp. 1867–1887.
14. Gu Z., Meng F., Farrukh M. Mapping the research on knowledge transfer: A scientometrics approach // *IEEE Access*. 2021. Vol. 9. Pp. 34647–34659.

References

1. Giovanelli L., Rotondo F., Ezza A. Business models for integration of sustainability in universities: An explorative analysis of Italian state universities. *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 324, pp. 1–12.
2. De Moortel K., Crispeels T. International university-university technology transfer: Strategic management framework. *Technological Forecasting and Social Change*, 2018, vol. 135, pp. 145–155.
3. Siegel D. S., Guerrero M. The impact of quarantines, lockdowns, and 'reopenings' on the commercialization of science: micro and macro issues. *Journal of Management Studies*, 2021, vol. 58, no. 5, pp. 1389–1394.
4. Rossoni A. L., de Vasconcellos E. P. G., de Castilho Rossoni R. L. Barriers and facilitators of university-industry collaboration for research, development and innovation: a systematic review. *Management Review Quarterly*, 2024, vol. 74, no. 3, pp. 1841–1877.
5. Bolzani D. et al. Technology transfer offices as providers of science and technology entrepreneurship education. *The Journal of Technology Transfer*, 2021, vol. 46, pp. 335–365.
6. Morawska-Jancelewicz J. The role of universities in social innovation within quadruple/quintuple helix model: Practical implications from polish experience. *Journal of the Knowledge Economy*, 2022, vol. 13, no. 3, pp. 2230–2271.
7. Grimaldi M., Greco M., Cricelli L. A framework of intellectual property protection strategies and open innovation. *Journal of Business Research*, 2021, vol. 123, pp. 156–164.
8. Feola R., Parente R., Cucino V. The entrepreneurial university: How to develop the entrepreneurial orientation of academia. *Journal of the Knowledge Economy*, 2021, vol. 12, pp. 1787–1808.
9. Fischer B. et al. Knowledge transfer for frugal innovation: where do entrepreneurial universities stand? *Journal of Knowledge Management*, 2021, vol. 25, no. 2, pp. 360–379.
10. Cai Y., Amaral M. The triple helix model and the future of innovation: A reflection on the triple helix research agenda. *Triple Helix*, 2021, vol. 8, no. 2, pp. 217–229.
11. Zakharov P. N., Posazhennikov A. A., Zakharova Z. A. Open innovations as a tool of interaction between universities and business structures in the digital economy. *Digital Economy: Complexity and Variety vs. Rationality 9*. Springer International Publishing, 2020, pp. 301–306.
12. Galan-Muros V., Davey T. The UBC ecosystem: putting together a comprehensive framework for university-business cooperation. *The Journal of Technology Transfer*, 2019, vol. 44, pp. 1311–1346.
13. Kezar A., Bernstein-Sierra S. Commercialization of higher education. *Second handbook of academic integrity*. Cham, Springer Nature Switzerland, 2024, pp. 1867–1887.
14. Gu Z., Meng F., Farrukh M. Mapping the research on knowledge transfer: A scientometrics approach. *IEEE Access*, 2021, vol. 9, pp. 34647–34659.

УДК

К. А. БАРМУТА, д-р экономич. наук; Т. В. ГАПОНЕНКО, Л. С. МЕДВЕДЕВА, кандидаты экономич. наук (Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону)

E-mail: gaponenko.t@mail.ru

K. A. Barmuta, T. V. Gaponenko, L. S. Medvedeva (Don State Technical University, Rostov-on-Don)

Риск-ориентированное управление региональными трудовыми ресурсами и занятостью в условиях цифровизации

Risk-based management of regional labor resources and employment in the context of digitalization

Представлена группировка населения региона по формам занятости в цифровой экономике. Определены категории трудовых заданий и характеристики организации занятости в современной экономике. Разработана модель риск-ориентированного управления трудовыми ресурсами и занятостью в системе инновационного развития региона. Приведено описание модели, ее структурно-функциональное представление. Обоснованы меры риск-ориентированного управления трудовыми ресурсами региона в цифровой экономике и даны рекомендации по реализации мер.

The grouping of the region's population by forms of employment in the digital economy is presented. The categories of work assignments and characteristics of the organization of employment in the modern economy are defined. A model of risk-oriented management of labor resources and employment in the system of innovative development of the region is developed. A description of the model, its structural and functional representation are given. Measures of risk-oriented management of the region's labor resources in the digital economy are substantiated and recommendations for the implementation of measures are given.

Ключевые слова: цифровая занятость, цифровой труд, платформенная занятость, дистанционная занятость, трудовые риски, рынок труда, цифровые трудовые платформы.

Keywords: digital employment, digital labor, platform employment, remote employment, labor risks, labor market, digital labor platforms.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 24-28-00848, <https://rscf.ru/project/24-28-00848/>.

До эпохи цифровизации трудовые ресурсы региона, безусловно признаваемые одним из ключевых факторов его развития, рассчитывались, исходя из предположения полной занятости в регионе на рабочих местах с учетом трудовой миграции. Труд населения выступал главной предпосылкой формирования ВРП региона. Распространение цифровых технологий и цифровая глобализация рынка труда приводят к следующим изменениям в сфере труда и занятости:

1. Асимметричное изменение спроса на труд. Появляется потребность в профессиях, связанных с созданием цифровых продуктов и оказанием цифровых услуг и требующие от работников новых цифровых навыков и компетенций. С другой стороны, как отмечает Закалюжная Н. В., роботизация и развитие ИИ влечет за собой негативные последствия в виде сокращения рабочих мест и занятости, в основном

среди работников так называемой средней квалификации [1].

2. Появление технологий, дающих возможность интеллектуального труда вне рабочего места, привело к развитию дистанционной занятости и территориальному разобщению места и результата труда. Информационно-коммуникативные, а затем и цифровые технологии породили новые способы организации занятости. Как указано в источнике [2], при цифровой форме занятости исходной единицей становится не рабочее место, а трудовые задания, распределяемые при помощи цифровых платформ, поэтому люди могут иметь легальную работу и заработок, не имея рабочих мест;

3. Благодаря цифровой глобализации рынка труда, позволяющей как получать трудовые задания от заказчиков из любой точки мира, так и привлекать исполнителей независимо от территории их прожи-

вания, возникли такие новые экономические явления, как миграция результатов труда и виртуальная трудовая миграция [3]. При этом регион-донор виртуальных трудовых ресурсов, обеспечивая качество жизни проживающих в нем виртуальных трудовых мигрантов (создание транспортной, социальной инфраструктуры и т. п.), не получает взамен прироста ВРП.

4. Цифровые платформы становятся ключевыми участниками в схемах организации занятости в таких секторах реального производства [4], как транспорт, связь, торговля, общественное питание, а также начинают играть важную роль в организации занятости в промышленности, сельском хозяйстве [5], при этом механизмы, учета, контроля и анализа занятости, налогообложения труда через цифровые платформы практически отсутствуют [1, 6].

5. Развитие дистанционной и платформенной занятости, являющихся формами гибкой [7], цифровой [8] занятости, а также развитие самозанятости сопровождается прекаризацией или нестабильностью занятости и получения доходов, потерей занятыми социальных прав в виде оплаты больничных, формирования пенсионных накоплений. Для бюджетной системы прекаризация опасна недополучением подоходного налога и страховых взносов, формирующих фонды пенсионной, социальной, медицинской поддержки граждан. Так, по данным Федеральной налоговой службы, в 2024 г. в Ростовской области количество самозанятых составляет более 352 тыс. чел., а по данным отделения Социального фонда России по Ростовской области [9], добровольные страховые взносы уплачены 3526 самозанятыми, то есть только 1 % самозанятых в регионе формируют свои пенсионные накопления.

Новые тенденции порождают проблему устареванию методологии анализа трудовых ресурсов и занятости и в целом подходов к управлению региональными трудовыми ресурсами [10]. К настоящему времени накоплен ряд вопросов, однозначного ответа на которые не найдено при исследовании широкого круга литературы. Как в условиях цифрового труда будет измеряться занятость населения? Какое значение будут иметь трудовые ресурсы для конкретного региона, учитывая их возможный вклад в создание добавленной стоимости для других регионов и даже стран? Какими должны быть механизмы управления трудовыми ресурсами и занятостью в условиях цифровизации? Решение указанных проблем актуально, их необходимость решения по мере развития цифровой занятости будут только нарастать.

Описанные явления ведут к недополучению доходов бюджетами и внебюджетными фондами, а

также дополнительным расходам на ликвидацию последствий несбалансированности труда и занятости: социальную поддержку малоимущих граждан и граждан, оставшихся без работы, их переобучение, обучение новым цифровым навыкам и т. п. Однако размер расходов и недополученных доходов, по сути являющимися экономическими потерями государства, носит вероятностный характер, поэтому ожидаемые изменения в области труда и занятости региона, связанные с цифровизацией, могут быть исследованы с позиции рисков.

Цель данной работы – разработка механизма риск-ориентированного управления трудовыми ресурсами и занятостью в системе инновационного развития региона.

Задачи исследования:

- выделить категории занятых и формы организации занятости в современной экономике;
- описать основные положения риск-ориентированного управления трудовыми ресурсами и занятостью региона;
- разработать модель риск-ориентированного управления трудовыми ресурсами и занятостью региона;
- дать рекомендации по риск-ориентированному управлению трудовыми ресурсами и занятостью.

Следует отметить, что в данном исследовании не принимаются во внимание демографические аспекты, а рассматриваются только цифровые факторы изменений в сфере труда и занятости. Результаты исследования предполагается использовать как дополнение к традиционному социально-демографическому прогнозированию трудовых ресурсов и занятости.

Материалы и методы исследования

Методологическую основу исследования составляют обзор, контекстный анализ, обобщение научных трудов, методы индукции и дедукции, аналогий. Источником фактического материала служат нормативно-правовые акты, статистические данные, материалы научных исследований, периодические издания, информационно-аналитические обзоры, экспертные и аналитические научные доклады, официальные интернет-ресурсы органов государственной власти, рекрутинговые и трудовые платформы, самостоятельные исследования авторов статьи.

Результаты исследования и их обсуждение

Одной из причин нерешения проблемы оценки занятости в цифровой экономике является отсутствие четкого разделения дистанционной и платформенной занятости, о пересечении данных понятий говорится

в экспертном докладе НИИ «ВШЭ» [11]. Чтобы развести понятия «платформенная занятость» и «дистанционная занятость», предложено рассматривать не занятость как таковую, а способ ее организации – платформенный или дистанционный. Платформенный способ организации занятости предполагает использование трудовой платформы только как источника трудового задания, а выполнение задания в виде работы, услуги предполагает прямой социальный контакт между заказчиком и исполнителем. Дистанционная организация занятости не требует прямого социального контакта и допускает территориальное разделение заказчика и исполнителя. Такое деление создает методологические предпосылки для выделения и анализа виртуальной трудовой миграции, ко-

торая пока практически не исследована. Остальные характеристики дистанционной и платформенной организации занятости представлены в табл. 1.

Появление новых форм цифровой занятости расширяет перечень категорий занятости. Как видно из рис. 1, возможность цифровой занятости позволяет добавить шесть новых категорий организации занятости:

ТД – традиционная и дистанционная;
ТП – традиционная и платформенная;
ТК – традиционная и комбинированная (платформенная и дистанционная);
ЦП – цифровая платформенная;
ЦД – цифровая дистанционная;
ЦК – цифровая комбинированная.

Таблица 1

Характеристики платформенной и дистанционной организации занятости

Признак	Платформенная организация занятости	Дистанционная организация занятости	
Поиск и получение трудового задания	Через посредника – платформу	Через посредника – платформу	Напрямую от заказчика
Круг потенциальных исполнителей	Не ограничен	Не ограничен	Конкретный исполнитель
Назначение персональных электронных устройств в организации труда	Только для получения трудового задания	Для получения и выполнения трудового задания	Для получения и выполнения трудового задания
Доминирующие средства труда	Основные средства (в т. ч. инструменты)	Аппаратные и программные	Аппаратные и программные
Характер труда	Физический	Интеллектуальный	Интеллектуальный
Результат труда	Работа, услуга	Цифровой продукт	Цифровой продукт
Способ передачи результата труда	Прямой социальный контакт между заказчиком и исполнителем	Передача через цифровые каналы связи	Передача через цифровые каналы связи
Совпадение места нахождения исполнителя и заказчика	Обязательно	Не обязательно	Не обязательно

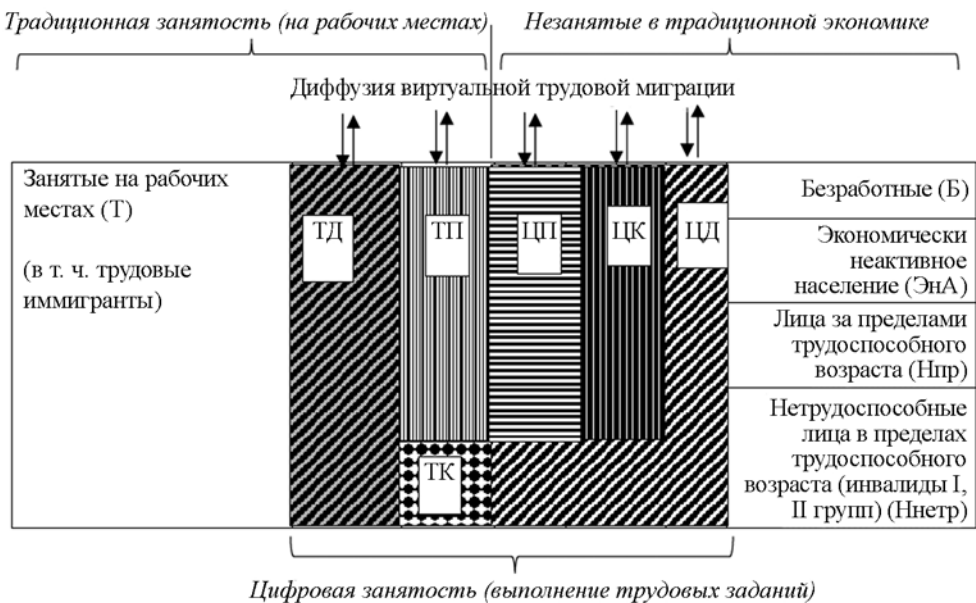


Рис. 1. Схема занятости населения в современной экономике

Благодаря цифровой занятости появляются дополнительные трудовые ресурсы за счет:

- категорий, которые могут освоить новые цифровые навыки и компетенции: безработные, некоторые категории экономически неактивного населения (женщины в отпуске по уходу за ребенком), население за пределами нетрудоспособного возраста, инвалиды I, II групп;
- избытка свободного времени у занятых на рабочих местах на условиях стандартной занятости;
- виртуальной трудовой эмиграции.

Среди занятых практически невозможно выявить виртуальную трудовую миграцию, поскольку исполнители работ могут и не знать регион присутствия работодателя, поэтому можно говорить о таком явлении, как диффузия виртуальной трудовой миграции или неконтролируемое и территориальное неидентифицируемое рассеивание виртуальных трудовых мигрантов среди цифровых занятых.

Рассмотрим региональный рынок труда со стороны работодателей. В традиционной экономике занятость определялась по совокупности занятых рабочих мест и вакансий. С появлением платфор-

менной и дистанционной занятости рынок труда со стороны работодателей выглядит следующим образом (см. рис. 2).

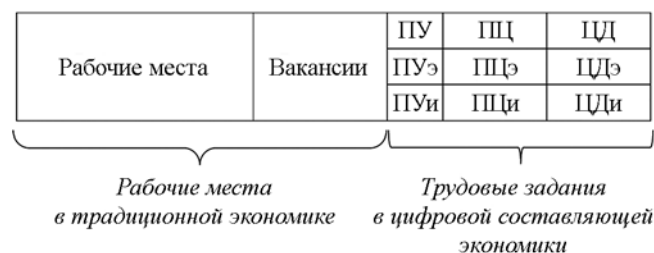


Рис. 2. Категории работ и работодателей региона в цифровой экономике:

ПУ – платформенные услуги при совпадении региона исполнителя и заказчика; ПЦ – платформенные цифровые продукты при совпадении региона исполнителя и заказчика; ЦД – дистанционные цифровые продукты при совпадении региона исполнителя и заказчика; ПУэ, ПЦэ, ЦДэ, ПУи, ПЦи, ЦДи – вариации при нахождении заказчика и исполнителя вне региона, соответственно

Категории работы описаны в табл. 2.

Для управления трудовыми ресурсами региона важно выделить две категории заказчиков ТЗ:

- участвующие в формировании ВРП данного региона: ПУ, ПУи, ПЦ, ПЦи, ЦД, ЦДи (при привле-

Таблица 2

Категории трудовых заданий и характеристики организации занятости в современной экономике

Условное обозначение трудовых заданий	Результат труда	Способ выдачи трудового задания	Регион нахождения заказчика и формирования ВРП	Регион нахождения исполнителя	Статус исполнителя
Традиционная занятость: рабочие места (РМ) и вакансии (В) (регламентированное рабочее время, организованное работодателем рабочее место, стабильный заработок, обязательные социальные гарантии в виде отпуска, оплаты больничных и т. п.)					
–	продукт, услуга, информация, знания и новые навыки	напрямую от работодателя к исполнителю	внутренний	внутренний	занятый в регионе
Платформенная организация занятости: трудовые задания (ТЗ) в оффлайн-среде					
ПУ	оффлайн-услуга (транспортные, бытовые, курьерские услуги и т. п.)	через посредника (цифровую платформу)	внутренний	внутренний	занятый в регионе
ПУ _и			внутренний	внешний	виртуальный иммигрант
ПУ _э			внешний	внутренний	виртуальный эмигрант
Дистанционная организация занятости: ТЗ в онлайн-среде					
ПЦ	цифровые (в т. ч. информационные) продукты и решения (веб-сайты, алгоритмы, мобильные приложения, контент и т. п.)	через посредника – цифровую платформу	внутренний	внутренний	занятый в регионе
ПЦ _и			внутренний	внешний	виртуальный иммигрант
ПЦ _э			внешний	внутренний	виртуальный эмигрант
ЦД		напрямую от заказчика к исполнителю по информационно-коммуникативным каналам	внутренний	внутренний	занятый в регионе
ЦД _и			внутренний	внешний	виртуальный иммигрант
ЦД _э			внешний	внутренний	виртуальный эмигрант

чении внешних (относительно региона) исполнителей образуют отток денежных средств, соответствующий заработку трудовых иммигрантов);

- не участвующие в формировании ВРП данного региона: ПУэ, ПЦэ, ЦДэ (при привлечении исполнителей из данного региона способствуют региональной занятости и притоку денежных средств в регион в форме заработка трудовых эмигрантов).

Таким образом, предложенное в табл. 2 деление трудовых заданий по категориям служит основой для выявления, оценки и анализа виртуальной трудовой миграции – не через исполнителей (занятых), а через заказчиков работ и услуг, выдающих трудовые задания в рамках платформенной и дистанционной занятости.

Исходя из представленной структуры населения региона и работодателей, представляющих как рабочие места, так и разовые трудовые задания, составляется модель равновесия рынков традиционного и цифрового труда. Для традиционной занятости равновесие в области труда и занятости в разрезе профессий выглядит следующим образом:

$$T + B = PM + V.$$

Для экономики, в которой сочетаются традиционные и цифровые формы занятости, модель равновесия (сбалансированности) труда и занятости выглядит так:

$$TД + ТП + ТК + ЦП + ЦД + ЦК = ПУ + ПУ_э + ПИ + ПИ_э + ЦД + ЦД_э - ПИ_э - ЦД - ЦД_э.$$

Сбалансированность виртуальной трудовой миграции достигается при выполнении равенств:

$$ПУ_{и} = ПУ_э, ПЦ_{и} = ПЦ_э, ЦД_{и} = ЦД_э.$$

Указанные равенства отражают идеальное (целовое) состояние сферы труда и занятости в регионе. Однако рассмотренные выше проблемы цифровизации экономики и новые экономические явления порождают трудовые цифровые риски, несущие отрицательные экономические последствия для экономики региона:

1. В сфере традиционной занятости:

- дефицита работников в связи с ростом требований к их знаниям и квалификации;
- избытка работников в связи с роботизацией труда;

2. В сфере цифровой занятости:

- несбалансированности виртуальной трудовой миграции;
- прекаризации занятости.

Указанные риски определяют необходимость риск-ориентированного управления трудовыми ресурсами и занятостью, целью которого является выявление и предупреждение экономически опасного дисбаланса традиционных и цифровых трудовых ресурсов региона, а также минимизация бюджетных расходов, связанных с обеспечением экономики региона трудовыми ресурсами и социальной поддержкой трудоспособного населения.

Основные принципы риск-ориентированного управления трудовыми ресурсами и занятостью региона в условиях цифровизации:

- охват всех форм занятости (традиционной и цифровой);
- мониторинг состояния традиционного и цифрового рынка труда;
- оценка рисков, связанных с несбалансированностью традиционных и цифровых трудовых ресурсов;
- предупреждение дисбаланса спроса и предложения на традиционном и цифровом рынке труда;
- минимизация экономических потерь, вызванных несбалансированностью всех форм занятости;
- минимизация негативных социально-экономических последствий прекаризации занятости.

Задачи риск-ориентированного управления трудовыми ресурсами и занятостью региона в условиях цифровизации:

- оценка сбалансированности спроса и предложения трудовых ресурсов;
- оценка сальдо виртуальной трудовой миграции региона;
- среднесрочное и долгосрочное прогнозирование потребности региона в традиционной и цифровой рабочей силе;
- среднесрочное и долгосрочное прогнозирование наличия традиционной и цифровой (виртуальной) рабочей силы в регионе;
- оценка рисков несбалансированности традиционных, цифровых трудовых ресурсов региона в среднесрочном и долгосрочном периоде;
- разработка региональных стратегий, проектов, программ с целью снижения цифровых трудовых рисков и минимизации расходов бюджета на ликвидацию их последствий;
- реализация мер по управлению цифровыми трудовыми рисками;
- контроль реализации мер;
- контроль уровня цифровых трудовых рисков региона.

Модель риск-ориентированного управления трудовыми ресурсами и занятостью представлена на рис. 3.

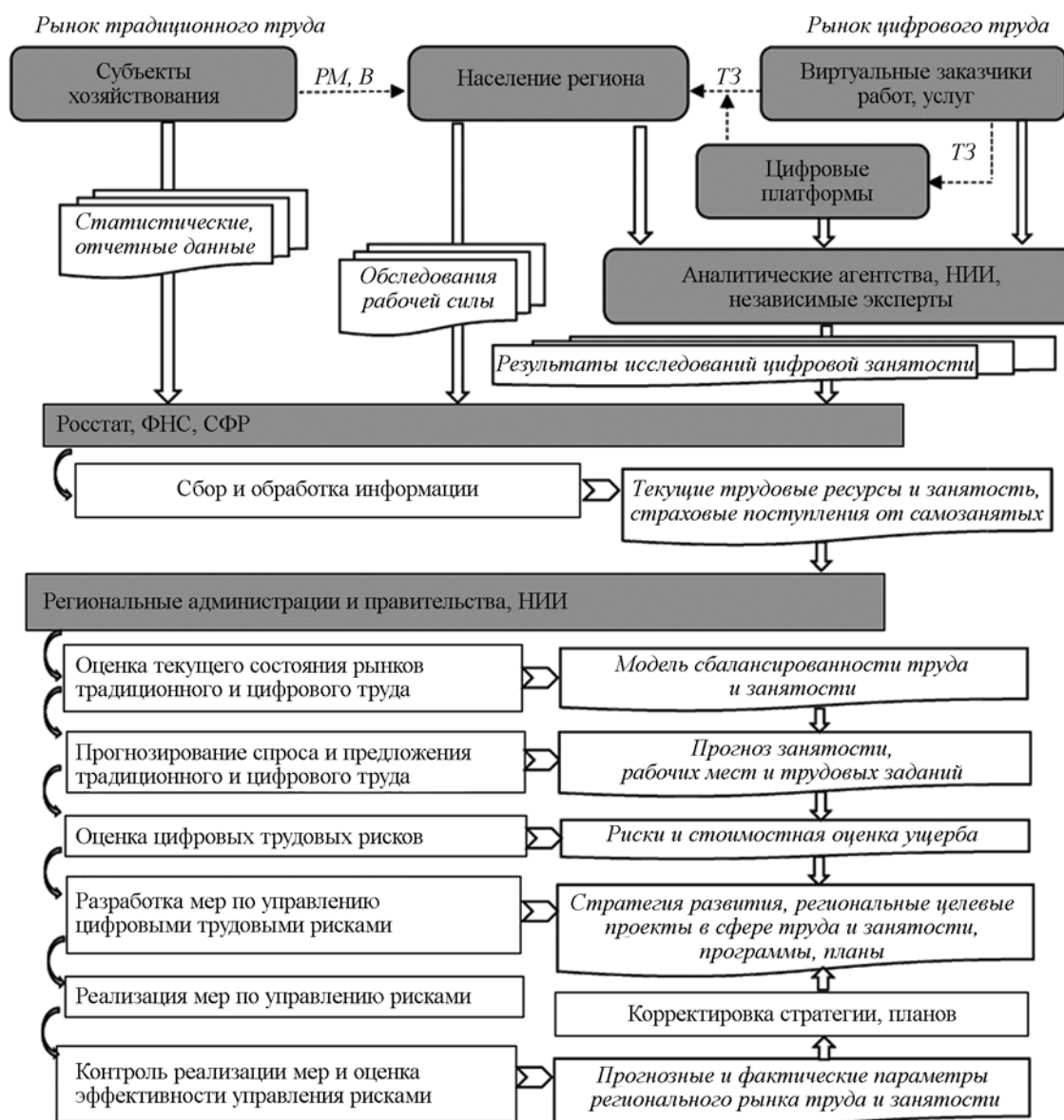


Рис. 3. Модель риск-ориентированного управления трудовыми ресурсами и занятостью региона

Разработанная модель представляет собой схему взаимодействия агентов, институтов и механизмов формирования трудовых ресурсов региона в условиях цифровизации трудовых процессов, развития цифровых форм занятости под воздействием рисков, связанных с цифровизацией и влияющих на трудовые ресурсы и занятость региона. Для управления цифровыми трудовыми рисками предложено реализовать ряд мер, мероприятия, в рамках которых предназначены для воздействия на выделенные категории занятости и работодателей (см. табл. 3).

Следует отметить, что реализация разработанной модели и мер, предложенных для управления цифровыми трудовыми рисками региона, на первых порах ее внедрения может столкнуться с рядом трудностей, связанных с исследованием цифровой занятости. В настоящее время оценки параметров платформенной и дистанционной занятости (доля занятых, средний

доход, доля рабочего времени и т. п.) получены на основании исследований самих гибких занятых [9]. Но такой подход, как было определено выше, не позволяет оценивать виртуальную трудовую миграцию. Исследование цифровой занятости со стороны заказчиков трудовых заданий, а также посредников – цифровых трудовых платформ – позволяет существенно дополнить картину цифровой занятости и приблизить оценочные суждения к реальному положению дел. Однако в настоящее время нет никаких механизмов и инструментов воздействия на собственников цифровых платформ, обязывающих их раскрывать информацию, связанную с их деятельностью, органам государственной власти. Многие ученые, в т. ч. Закалюжная Н. В., Мысляева И. Н. отмечают, что государственное регулирование социально-трудовых отношений в цифровой среде является недостаточным и требуется незамедлительная разработка соот-

ветствующих мер [1, 6]. Однако в этом направлении ведется активная работа, и можно надеяться, что в недалеком будущем цифровая занятость получит должное государственное регулирование и контроль.

Таблица 3

Рекомендации по риск-ориентированному управлению трудовыми ресурсами и занятостью региона

Категории занятости	Мероприятия
Меры: исключение	
Т, Б, РМ, В	Постепенное сворачивание обучения неперспективным профессиям
Меры: специальные организационные структуры	
Все	Система мониторинга и прогнозирования трудовых ресурсов региона
ТД, ТП, ТК, ЦП, ЦД, ЦК, ПУ, ПУ _и , ПЦ, ПЦ _и , ЦД, ЦД _и , ПУ _и , ПЦ _и , ЦД _и	Система мониторинга и прогнозирования цифровой занятости населения и виртуальной трудовой миграции
Меры: планирование и прогнозирование	
Все	Прогнозирование будущей потребности в рабочей силе
Все	Разработка «дорожной карты» риск-ориентированного управления трудовыми ресурсами региона
Меры: административные решения	
Б, ЭН _А , Н _{пр} , Н _{нетр} , ТД, ТК, ЦД, ЦК	Обучение, переобучение профессиям для цифровой экономики
Б, ЭН _А , Н _{пр} , Н _{нетр} , ТД, ТК, ЦД, ЦК	Обучение населения цифровым навыкам
Б, ЭН _А , Н _{пр} , Н _{нетр} , ТД, ТП, ТК, ЦД, ЦП, ЦК	Обучение населения навыкам работы с цифровыми трудовыми платформами
ПУ _и , ПЦ _и , ЦД _и	Льготы, преференции для привлекающих исполнителей работ из других регионов на условиях виртуальной занятости
ЦП, ЦД, ЦК	Пропаганда добровольной уплаты страховых взносов самозанятыми
ЦП, ЦД, ЦК	Дополнительные региональные льготы, преференции для самозанятых, добровольно уплативших страховые взносы
Т, Б, РМ, В	Информирование и пропаганда профессий для цифровой экономики: наглядная агитация, тематические конкурсы, выставки робототехники
Меры: региональные цифровые продукты	
Т, Б, РМ, В	Информирование и пропаганда профессий для цифровой экономики: подкасты, новости
ЦП, ЦД, ЦК, ПУ, ПУ _и , ПУ _и , ПЦ, ПЦ _и , ПЦ _и	Региональные трудовые платформы с преференциями для региональных работодателей
Б, В	Региональный банк вакансий по реализуемым инвестиционным и инновационным проектам

Выводы. 1. Благодаря цифровым технологиям образовано шесть новых категорий занятого населения: цифровые занятые на условиях платформенной, дистанционной и комбинированной организации труда, а также занятые на рабочих местах, сочетающие традиционную занятость с платформенной, дистанционной занятостью или ими обеими.

2. Выделено девять новых категорий цифровых работодателей региона, выдающих трудовые задания на условиях платформенной и дистанционной организации занятости.

3. Предложен новый экономический термин – диффузия виртуальной трудовой миграции как неконтролируемое и территориальное неидентифицируемое рассеивание виртуальных трудовых мигрантов среди цифровых занятых. Определено, что наличие этого явления не позволяет выявить виртуальную трудовую миграцию среди занятых, но предложенное деление трудовых заданий по девяти категориям может служить основой для выявления, оценки и анализа виртуальной трудовой миграции.

4. Составлена модель равновесия (сбалансированности) труда и занятости для экономики, сочетающих традиционные и цифровые формы занятости. Несбалансированность традиционных и цифровых трудовых ресурсов порождает риски и предопределяет необходимость риск-ориентированного управления трудовыми ресурсами и занятостью региона.

5. Составлена модель риск-ориентированного управления трудовыми ресурсами и занятостью региона и даны рекомендации по управлению цифровыми трудовыми рисками, что будет способствовать снижению экономических потерь государства при асимметричном развитии рынка труда, росте прекаризации занятости.

Список литературы

1. *Закалюжная Н. В.* Новая концепция занятости и развитие трудовых отношений в цифровую эпоху // *Право. Журнал Высшей школы экономики.* 2023. № 2. С. 139–164.
2. *Сизова И. Л., Хусяинов Т. М.* Труд и занятость в цифровой экономике: проблемы российского рынка труда // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Социология.* 2017. Т. 10. № 4. С. 376–396.
3. *Цапенко И. П., Гришин И. В.* Виртуализация трансграничной трудовой миграции // *Вестник Российской академии наук.* 2022. Т. 92. № 9. С. 849–859.
4. *Barmuta K. A., Akhmetshin E. M., Andryushchenko I. Y. et al.* Problems of business processes transformation in the context of building digital economy // *Entrepreneurship and Sustainability Issues.* 2020. Vol. 8. № 1. Pp. 945–959.
5. *Baldwin R., Forslid R.* Globotics and development: When manufacturing is jobless and services are tradable // *NBER Working Paper.* 2020. № 26731. Pp. 1–42.

6. Мысляева И. Н. Государственное регулирование социально-трудовых отношений в условиях цифровой экономики // Уровень жизни населения регионов России. 2024. Т. 20. № 1. С. 27–38.

7. Пань Л., Нехода Е. В. Совместная деятельность и гибкая модель занятости // Управленец. 2024. Т. 15. № 4. С. 52–66.

8. Капелюшников Р. И., Зинченко Д. И. Цифровые формы занятости на российском рынке труда: дистанционная и платформенная. М.: Изд. дом Высшей школы экономики. 2024.

9. В Ростовской области 3,5 тысячи самозанятых уплачивают страховые взносы для формирования пенсионных прав // Социальный фонд России. URL: <https://sfr.gov.ru/branches/rostov/news~2024/11/22/268340?ysclid=mci4ke46q2383529180>.

10. Хадасевич Н. Р. Трансформация содержания регионального трудового потенциала // Креативная экономика. 2021. Т. 15. № 8. С. 3337–3348.

11. Синявская О. В., Бирюкова С. С., Карева Д. Е., Стужук Д. А. Платформенная занятость в России: динамика распространенности и ключевые характеристики занятых. Экспертный доклад. М.: Изд. дом Высшей школы экономики. 2024.

References

1. Zakalyuzhnaya N. V. A new concept of employment and the development of labor relations in the digital era. *Law Journal of the Higher School of Economics*, 2023, no. 2, pp. 139–164.

2. Sizova I. L., Khusyainov T. M. Labor and employment in the digital economy: The problems of the Russian labor market. *Bulletin of St. Petersburg University. Sociology*, 2017, vol. 10, no. 4, pp. 376–396.

3. Tsapenko I. P., Grishin I. V. Virtualization of cross-border labor migration. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 2022, vol. 92, no. 9, pp. 849–859.

4. Barmuta K. A., Akhmetshin E. M., Andryushchenko I. Y., Tagibova A. A., Meshkova G. V., Zekiy A. O. Problems of business processes transformation in the context of building digital economy. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 2020, vol. 8, no 1, pp. 945–959.

5. Baldwin R., Forslid R. Globotics and development: When manufacturing is jobless and services are tradable. *NBER Working Paper*, 2020, no. 26731, pp. 1–42.

6. Myslyayeva I. N. State regulation of social and labor relations in a digital economy. *Living Standarts of the Population in the Regions of Russia*, 2024, vol. 20, no. 1, pp. 27–38.

7. Pan L., Nekhoda E. V. Collaborative activities and flexible working. *The Manager*, 2024, vol. 15, no. 4, pp. 52–66.

8. Kapelyushnikov R. I., Zinchenko D. I. *Cifrovye formy zanjatosti na rossijskom rynke truda: distancionnaja i platformennaja* [Digital forms of employment in the Russian labor market: Remote and platform]. Moscow, Publishing house of HSE, 2024.

9. In the Rostov Region 3,5 thousand self-employed individuals pay insurance premiums to form their pension rights. *Social Fund of Russia*, available at: <https://sfr.gov.ru/branches/rostov/news~2024/11/22/268340?ysclid=mci4ke46q23835>.

10. Khadasevich N. R. Transformation of the content of regional labor potential. *Creative Economy*, 2021, vol. 15, no. 8, pp. 3337–3348.

11. Sinyavskaya O. V., Biryukova S. S., Kareva D. E., Stuzhuk D. A. *Platformennaja zanjatost' v Rossii: dinamika rasprostranennosti i kljuchevyje harakteristiki zanjatyh. Ekspertnyj doklad* [Platform employment in Russia: Prevalence dynamics and key characteristics of employed people. Expert report]. Moscow, Publishing house of HSE, 2024.

БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ТРУДА

УДК 338.001.36

Н. Н. АЛЕКСАНДРОВА, канд. экон. наук (Тюменский индустриальный университет, Тюмень)

E-mail: nata_aleksandr@mail.ru

N. N. Aleksandrova (Tyumen Industrial University, Tyumen)

Оценка деятельности предприятий машиностроения в контексте социально-экономической безопасности

Assessing the performance of mechanical engineering enterprises in the context of socioeconomic security

Рассматриваются вопросы оценки деятельности предприятий машиностроительной отрасли России в контексте их социально-экономической безопасности. Предлагается использование комплексного показателя, учитывающего результаты функционирования с учетом особенностей отрасли, целей и ответственности предприятия. Предложенные положения на примере предприятия по производству аккумуляторных батарей позволили определить проблемы и направления развития для формирования управленческих решений по повышению устойчивости и конкурентоспособности предприятия.

This article examines the performance assessment of enterprises in the Russian mechanical engineering industry in the context of their socioeconomic security. The use of a comprehensive indicator that takes into account operational results, industry specifics, and enterprise goals and responsibilities is proposed. Using a battery manufacturing company as an example, the proposed provisions allowed us to identify challenges and development areas for the formation of management decisions to improve the enterprise's sustainability and competitiveness.

Ключевые слова: оценка деятельности предприятия; индикаторы социально-экономической безопасности; интегральный подход.

Keywords: enterprise performance assessment; socioeconomic security indicators; integrated approach.

Национальная экономика РФ в последнее десятилетие претерпевает значительные изменения, обусловленные международной политикой и экономическими санкциями. Обеспечение устойчивого положения в сложившихся условиях возможно за счет развития отраслей отечественной экономики.

Особое место занимает отрасль машиностроения, способствующая стабильному и устойчивому социально-экономическому развитию современного общества. Следует учитывать, что большинство предприятий машиностроительной отрасли в производственном цикле применяют вредные для человека и экосистемы вещества и технологии, отсюда возникают угрозы их социальной безопасности [1]. Учитывая все особенности и значимость данных хозяйствующих субъектов, для обеспечения их эффективного, конкурентоспособного, устойчивого и безопасного положения на рынке необходимо проводить многоцелевую оценку деятельности, включающую

комплекс показателей по различным направлениям, характеризующим не только экономическую, но и социальную безопасность [2].

С этой целью автором предлагается определение интегрального показателя оценки социально-экономической безопасности предприятий машиностроения. Применение инструмента многоцелевого управления позволит сопоставить результаты деятельности объекта исследования за анализируемый период, выявить существующие проблемы и угрозы, определить варианты развития на будущее и сформировать управляющие воздействия для достижения основных целей [3, 4].

Для оценки социально-экономической безопасности предприятий машиностроительной отрасли и построения интегрального показателя предлагается сформировать четыре группы индикаторов, оказывающих, по мнению автора, существенное влияние на результаты его деятельности:

- институциональные (отражают организационные характеристики и конкурентоспособность предприятия на рынке);
- финансово-экономические (описывают финансовое состояние предприятия и эффективность управления);
- производственно-технологические (характеризуют производственные процессы и экологическую безопасность);
- социальные (показывают социальную ответственность предприятия и ее вклад в благосостояние работников).

По каждой группе индикаторов отобрана система показателей, отражающих в полной мере их специфику и имеющих количественное измерение (см. табл. 1).

Для апробации вышеизложенных положений выбрано предприятия машиностроительной отрасли по производству аккумуляторных батарей (АО «Тюменский аккумуляторный завод»).

Тюменский аккумуляторный завод начинает свою историю в декабре 1941 г., когда в город прибывает эвакуированный завод из Подольска. В феврале 1942 г. собрана первая партия аккумуляторных батарей. В то время это единственный действующий аккумуляторный завод на территории СССР. С 1971 г. тюменское предприятие начинает работать на новых площадях, а номенклатура выпускаемых изделий состоит из четырех видов аккумуляторов.

К настоящему времени предприятием освоено и модернизировано 64 типа аккумуляторных батарей для автомобилей, автобусов и тяжелой гусеничной техники, 9 – для мотоциклетной техники, 6 – для железнодорожного транспорта, 17 – для электростанций, узлов связи и газоперекачивающих установок, более восьми десятков наименований аккумуляторных батарей для электрического напольного транспорта.

Помимо развития технической и технологической базы руководство предприятия уделяет особое внимание улучшению условий труда работников и экологической ситуации в целом. Производственные площади оборудованы современной системой вентиляции, отлажена станция нейтрализации кислотных стоков, запущено новое оборудование. Как следствие вредные выбросы в атмосферу от предприятия снижены, а регулярные исследования сточных вод с аккумуляторного завода показывают высокую степень их очистки. Ответственные решения менеджмента предприятия приводят к тому, что в 2006 г. заводу присвоено звание «Лидер природоохранной деятельности в России».

Исходными данными для дальнейшего определения интегрального показателя оценки социально-экономической безопасности исследуемого предприятия выступают открытые данные бухгалтерской и статистической отчетности (см. табл. 2).

Таблица 1

Индикаторы социально-экономической безопасности предприятий машиностроения

Институциональные	Финансово-экономические	Производственно-технологические	Социальные
П 1.1. Уставной капитал	П 2.1. Выручка от реализации	П 3.1. Налог за загрязнение окружающей среды	П 4.1. Расходы на гарантии, компенсации и средства ИЗ
П 1.2. Доля на внутреннем рынке	П 2.2. Прибыль чистая	П 3.2. Уровень использования производственных мощностей	П 4.2. Средняя заработная плата
П 1.3. Основные средства	П 2.3. Размер дивиденда на одну акцию	П 3.3. Расход энергоресурсов	П 4.3. Доля премий в ФЗП

Таблица 2

Показатели индикаторов социально-экономической безопасности АО «Тюменский аккумуляторный завод»

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	max/min	2020	2021	2022	2023	2024
Институциональные								
1	П 1.1.	тыс. руб.	max	151 868	157 868	151 868	151 868	151 868
2	П 1.2.	%	max	17,38	18,43	18,1	17,7	19,33
3	П 1.3.	тыс. руб.	max	1 257 567	1 400 998	1 416 364	1 472 564	1 722 364
Финансово-экономические								
4	П 2.1.	тыс. руб.	max	4 286 333	5 759 309	6 999 068	7 805 029	10 372 623
5	П 2.2.	тыс. руб.	max	307 241	309 519	914 153	1 623 517	2 451 772
6	П 2.3.	руб.	max	32,05	64,10	64,10	128,20	192,30

Окончание табл. 2

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	max/min	2020	2021	2022	2023	2024
Производственно-технологические								
7	П 3.1.	тыс. руб	min	103	98	46	60	71
8	П 3.2.	%	max	99,7	100	99,5	100	100
9	П 3.3.	тыс. руб.	min	287 320	347 250	373 398	395 495	464 483
Социальные								
10	П 4.1.	тыс. руб.	max	31 404	36 796	40 539	51 038	62 594
11	П 4.2.	тыс. руб.	max	55 015	67 582	73 645	89 414	112 401
12	П 4.3.	%	max	39,43	41,65	45,57	49,55	53,09

Таблица 3

Относительные показатели индикаторов социально-экономической безопасности АО «Тюменский аккумуляторный завод»

№ п/п	Показатель	Значимость	2020	2021	2022	2023	2024
Институциональные							
1	П 1.1.	0,3	0,962	1	0,962	0,962	0,962
2	П 1.2.	0,4	0,899	0,953	0,936	0,916	1
3	П 1.3.	0,3	0,730	0,813	0,822	0,855	1
Финансово-экономические							
4	П 2.1.	0,3	0,413	0,555	0,675	0,752	1
5	П 2.2.	0,4	0,125	0,126	0,373	0,662	1
6	П 2.3.	0,3	0,167	0,333	0,333	0,667	1
Производственно-технологические							
7	П 3.1.	0,3	0,447	0,469	1	0,767	0,648
8	П 3.2.	0,4	0,997	1	0,995	1	1
9	П 3.3.	0,3	1	0,827	0,8	0,726	0,619
Социальные							
10	П 4.1.	0,3	0,502	0,588	0,648	0,815	1
11	П 4.2.	0,4	0,489	0,601	0,655	0,795	1
12	П 4.3.	0,3	0,743	0,785	0,858	0,933	1

Для приведения представленных показателей индикаторов социально-экономической безопасности в сопоставимый вид определяются их относительные величины в соответствии с направленностью (см. табл. 3).

Для формирования общего интегрального показателя оценки социально-экономической безопасности предприятий машиностроения необходимо определить интегральный показатель по каждому из четырех индикаторов, при этом важно установить значимость каждого индикатора оценки, характеризующую степень влияния и важность относительно других индикаторов при принятии решения социально-экономической безопасности предприятия машиностроения, с этой целью использован метод парных сравнений.

В табл. 4 представлены коэффициенты значимости и результаты расчета интегральных показателей по

каждому индикатору, а также общий интегральный показатель социально-экономической безопасности предприятия по производству аккумуляторных батарей.

На основе представленной информации можно заключить, что в анализируемый период социально-экономическая безопасность исследуемого предприятия по производству аккумуляторных батарей имеет положительные изменения (см. рис. 1).

При этом только положительные тенденции имеют финансово-экономические и социальные индикаторы, что положительно характеризует политику менеджмента АО «Тюменский аккумуляторный завод» в сфере управленческих решений, принимаемых в отношении персонала и акционеров. Группы институциональных и производственно-технических индикаторов в анализируемый период, за счет снижения доли рынка и увеличения налога за загрязнение,

Таблица 4

Интегральная оценка социально-экономической безопасности АО «Тюменский аккумуляторный завод»

№ п/п	Блок показателей	Значимость	Интегральная оценка				
			2020	2021	2022	2023	2024
1	Институциональные	0,25	0,867	0,925	0,910	0,912	0,989
2	Финансово-экономические	0,25	0,224	0,317	0,452	0,691	1
3	Производственно-технологические	0,25	0,833	0,789	0,938	0,848	0,780
4	Социальные	0,25	0,569	0,652	0,714	0,842	1
Общая интегральная оценка			0,623	0,671	0,754	0,823	0,942

требуют внедрения мероприятий, направленных на улучшение организации производственного процесса и рыночной стратегии. В целом же, в соответствии с проведенными исследованиями и результатами интегральной оценки социально-экономической безопасности предприятия по производству аккумуляторных батарей, можно сделать вывод, что АО «Тюменский аккумуляторный завод» в период 2020–2025 гг. имеет положительные тенденции по данному показателю (см. рис. 2).

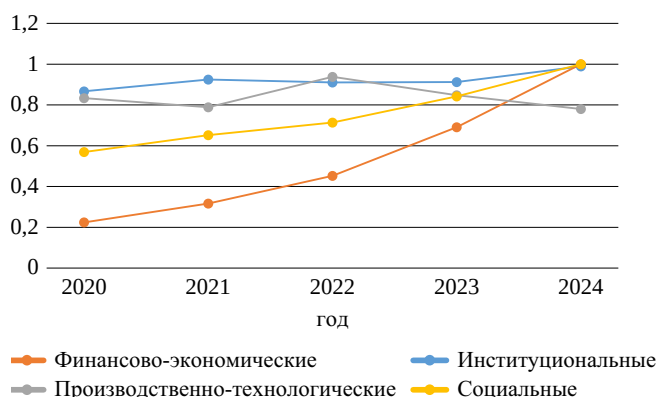


Рис. 1. Динамика интегральных показателей по индикаторам социально-экономической безопасности АО «Тюменский аккумуляторный завод»

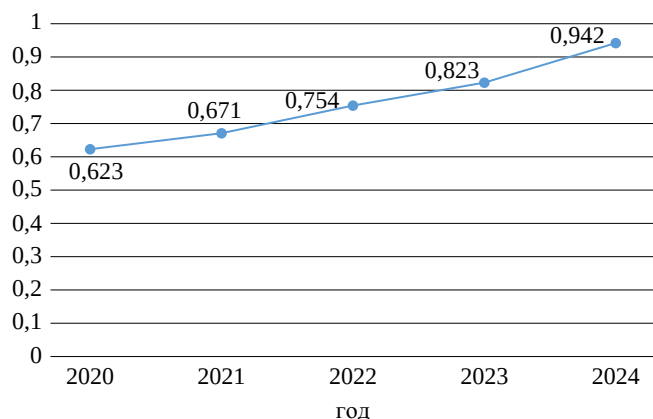


Рис. 2. Динамика интегрального показателя оценки социально-экономической безопасности АО «Тюменский аккумуляторный завод»

В заключении данного исследования следует интерпретировать полученные результаты, с этой целью используем шкалу универсального применения, позволяющую перевести количественные оценки в качественные (шкалу Харрингтона), представленную в табл. 5.

Таблица 5

Интерпретация интегрального показателя оценки социально-экономической безопасности предприятий машиностроения

Значение	Содержательное описание градаций
0,2–0,36	Низкая
0,37–0,63	Средняя
0,64–0,79	Высокая
0,8–1	Очень высокая

Многоцелевая комплексная оценка деятельности предприятия машиностроения на примере АО «Тюменский аккумуляторный завод» показывает, что в 2020–2024 гг. в контексте социально-экономической безопасности имеется ежегодный рост, а показатель меняется от среднего до очень высокого.

Выводы. 1 Для оценки деятельности предприятий машиностроения предлагается использовать многоцелевой подход, включающий комплексное исследование в контексте социально-экономической безопасности.

2. В рамках его применения предлагаются группы индикаторов, позволяющих, посредством систематизации, учесть результаты функционирования конкретного предприятия по различным направлениям и рассмотреть деятельность хозяйствующего субъекта не только с позиции коммерциализации, но и с точки зрения социальной ответственности перед работниками и обществом в целом.

3. По результатам применения интегрального подхода к оценке социально-экономической безопасности предприятия машиностроения возможно выявление проблемных направлений деятельности и соответственно разработка корректирующих мероприятий.

Список литературы

1. Измайлов М. К. Стратегия развития отрасли машиностроения в России: технологический аспект // Вопросы региональной экономики. 2020. № 1 (42). С. 63–72.
2. Некрасова И. Ю., Меллер Н. В. Исследование теоретических аспектов анализа и оценки финансового состояния предприятия // Финансовая экономика. 2019. № 1. С. 767–772.
3. Вагина Н. Д. Анализ современных методик оценки социально-экономической безопасности предприятия // Экономика и социум. 2017. № 3 (34). С. 1922–1925.
4. Тарасов А. И., Пожимальн В. Н., Махмудов Р. Д., Гаджимурадов А. Г. К вопросу социально-экономической безопасности предприятия // Инновационная экономика: информация, аналитика, прогнозы. 2023. № 4. С. 52–58.

References

1. Izmailov M. K. Development Strategy of the Mechanical Engineering Industry in Russia: Technological Aspect. *Issues of Regional Economics*, 2020, no. 1 (42), pp. 63–72.
2. Nekrasova I. Yu., Meller N. V. Study of Theoretical Aspects of Analysis and Assessment of the Financial Condition of an Enterprise. *Financial Economics*. 2019, no. 1, pp. 767–772.
3. Vagina N. D. Analysis of Modern Methods for Assessing the Socio-Economic Security of an Enterprise. *Economy and Society*, 2017, no. 3 (34), pp. 1922–1925.
4. Tarasov A. I., Pozhimalin V. N., Makhmudov R. D., Gadzhimuradov A. G. On the Issue of Socio-Economic Security of an Enterprise. *Innovative Economics: Information, Analytics, Forecasts.*, 2023, no. 4, pp. 52–58.

ПЕРСОНАЛ И КАДРЫ

УДК 331.101.3:658.3:316.77(470+571)»20»

Н. А. ЗАВЬЯЛОВА, д-р культурологии, канд. филологич. наук (Уральский государственный педагогический университет, г. Екатеринбург)

E-mail: n.zavzav@yandex.ru

N. A. Zavyalova (Ural State Pedagogical University, Yekaterinburg)

Коммуникация кадров на промышленном предприятии в современном социокультурном пространстве как фактор повышения производительности труда

Communication of personnel in an industrial enterprise within the modern socio-cultural space as a factor of increasing labor productivity

Проведены исследование и количественная оценка взаимосвязи между качеством коммуникационных процессов на промышленном предприятии и уровнем производительности труда в контексте современных социокультурных вызовов. Обсуждение результатов подтверждает, что оптимизация коммуникаций устраняет барьеры, высвобождает время и повышает мотивацию, переводя абстрактные улучшения в конкретные экономические выгоды. Синтез объективных и субъективных показателей демонстрирует мультипликативный эффект: рост вовлеченности усиливает производительность. Исследование подчеркивает необходимость перехода к сетевым моделям для устойчивого развития.

The goal of the work is to explore and quantitatively evaluate the relationship between the quality of communication processes in an industrial enterprise and the level of labor productivity in the context of modern socio-cultural challenges. Discussion of the results confirms that optimizing communications eliminates barriers, saves time, and increases motivation, translating abstract improvements into concrete economic benefits. The synthesis of objective and subjective indicators demonstrates a multiplier effect: increased engagement enhances productivity. The study emphasizes the necessity of transitioning to network models for sustainable development.

Ключевые слова: коммуникация кадров; производительность труда; промышленное предприятие; цифровые технологии; вовлеченность персонала.

Keywords: personnel communication; labor productivity; industrial enterprise; digital technologies; employee engagement.

В условиях стремительной трансформации глобального экономического ландшафта и социокультурных парадигм промышленные предприятия сталкиваются с беспрецедентными вызовами, требующими кардинального пересмотра традиционных подходов к управлению. Одним из ключевых, но часто недооцениваемых, ресурсов в борьбе за конкурентоспособность и эффективность становится система внутренних коммуникаций. Современное социокультурное пространство, характеризующееся доминированием цифровых технологий, высокой скоростью обмена информацией и изменением ценностных ориентаций работников [1], предъявляет новые требования к организации взаимодействия внутри коллектива. Устаревшие иерархические модели, основанные на

однаправленной передаче команд «сверху вниз», демонстрируют свою несостоятельность, порождая информационные разрывы, недопонимание и, как следствие, снижение производственных показателей. Проблема заключается не только в технологическом отставании, но и в культурном диссонансе между ожиданиями нового поколения сотрудников, привыкших к сетевому взаимодействию и мгновенной обратной связи [2], и ригидностью корпоративных структур.

Актуальность данного исследования обусловлена нарастающим осознанием того, что коммуникация кадров перестает быть исключительно функцией отдела по работе с персоналом и превращается в стратегический фактор, напрямую влияющий на

производительность труда. Неэффективное взаимодействие на промышленном предприятии приводит к ощутимым экономическим потерям: увеличению времени на выполнение производственных заданий из-за необходимости постоянных уточнений, росту числа ошибок и брака, снижению мотивации и вовлеченности персонала, а также к высокой текучести кадров [3]. Разрыв между декларируемыми целями руководства и их реальным восприятием на уровне цеха или производственного участка является прямым следствием коммуникационных барьеров. В этом контексте возникает острая необходимость в научном осмыслении и эмпирическом анализе влияния современных коммуникационных стратегий и инструментов [4] на производственную эффективность.

Цель данной работы – исследование и количественная оценка взаимосвязи между качеством организации коммуникационных процессов на промышленном предприятии и уровнем производительности труда в контексте современных социокультурных вызовов.

Материалы и методы исследования

Исследование проводится на базе крупного промышленного предприятия машиностроительной отрасли в период с января по декабрь 2023 г. Объектом исследования выступают коммуникационные процессы между различными уровнями персонала. Предметом исследования являлось влияние модернизированной системы коммуникаций на показатели производительности труда. Для обеспечения валидности результатов сформирована выборка из 240 сотрудников производственных цехов, разделенных на две равные группы по 120 человек: контрольную и экспериментальную. Группы сбалансированы по ключевым демографическим и профессиональным характеристикам, таким как возраст, стаж работы, квалификационный разряд и специализация. В экспериментальной группе на протяжении шести месяцев внедряется комплексная система цифровых коммуникаций, включающая корпоративный мессенджер, единую базу знаний с доступом с мобильных устройств [5], систему электронного трекинга задач и платформу для сбора обратной связи. Контрольная группа продолжает функционировать в рамках традиционной системы коммуникаций, основанной на устных распоряжениях мастеров, использовании стендов с информацией и бумажном документообороте [6].

В качестве основных методов сбора данных используется комплексный подход, сочетающий количественные и качественные инструменты. Для

оценки производительности труда применяется анализ производственной отчетности: фиксируются данные по среднечасовой выработке продукции на одного работника и коэффициенту брака. Для измерения временных затрат на коммуникацию используется метод хронометража рабочего времени, в частности, замеряется среднее время, затрачиваемое сотрудником на уточнение производственного задания. Субъективные оценки собираются посредством анонимного анкетирования и структурированных интервью. Для оценки удовлетворенности коммуникацией и уровня вовлеченности персонала адаптирована методика, основанная на шкале Лайкерта [7]. Обработка полученных данных осуществляется с применением методов математической статистики в программном пакете *SPSS*. Для сравнения средних значений в двух независимых выборках используется *t*-критерий Стьюдента, а для выявления взаимосвязей между переменными – корреляционный анализ по методу Пирсона [8]. Данный методологический аппарат позволяет обеспечить комплексность анализа и достоверность полученных выводов [9].

Результаты исследования и их обсуждение

Проблема разрыва между стратегическими целями руководства и операционной деятельностью на производственных участках во многом коренится в неэффективности и архаичности существующих коммуникационных каналов. Традиционная модель передачи информации, характеризующаяся многоступенчатостью и искажениями на каждом уровне иерархии, не только замедляет производственные процессы, но и демотивирует персонал [10], лишая его чувства причастности к общим целям компании. Внедрение современных коммуникационных платформ теоретически должно решать эту проблему, обеспечивая прямую и быструю связь, а также прозрачность в постановке задач. Однако для подтверждения этой гипотезы требуется эмпирическая проверка, которая позволила бы количественно оценить эффект от подобных нововведений.

В рамках исследования предпринята попытка измерить влияние целенаправленной модернизации коммуникационной среды на ключевые производственные и социально-психологические показатели. Сравнение контрольной и экспериментальной групп до и после внедрения новой системы позволяет не только зафиксировать изменения, но и с высокой долей вероятности атрибутировать их именно проведенному вмешательству. Первичный срез данных, проведенный до начала эксперимента, показывает отсутствие статистически значимых различий между группами, что создает надежную базу для дальней-

шего сравнительного анализа. Итоговые данные, полученные через шесть месяцев, представлены в последующих аналитических срезах (см. табл. 1). В них отражена динамика как объективных производственных метрик [11], так и субъективных оценок сотрудников, что дает комплексное представление о произошедших изменениях.

Анализ данных, представленных в табл. 1, свидетельствует о высокой степени гомогенности контрольной и экспериментальной групп на начальном этапе исследования. Средние значения по ключевым показателям – выработке, уровню брака и удовлетворенности коммуникацией – практически идентичны. Например, разница в средней выработке составляет всего 0,04 шт./ч, что является статистически незначимой величиной, подтвержденной высоким значением *p-value* (0,893), которое значительно превышает пороговый уровень в 0,05. Аналогичная картина наблюдается и по коэффициенту брака, где различие в 0,03 п. п. также не является статистически достоверным.

Это первоначальное равенство групп имеет принципиальное методологическое значение. Оно позволяет утверждать, что любые последующие расхождения в показателях между группами с высокой вероятностью будут обусловлены именно экспериментальным воздействием – внедрением новой коммуникационной системы [12], а не какими-либо исходными различиями в квалификации, мотивации или условиях труда. Таким образом, создана корректная отправная точка для оценки чистого эффекта от проведенной модернизации коммуникационных процессов. Субъективный показатель удовлетворенности коммуникацией, находящийся на низком уровне около 4,1 балла в обеих группах, подчеркивает общую для всего предприятия проблему, которую и призван решить эксперимент.

Данные табл. 2 наглядно демонстрируют существенный положительный эффект от внедрения новой системы коммуникаций. В экспериментальной группе средняя выработка на одного рабочего увеличивается на 11,45 %, достигая показателя в 28,43 шт./ч, в то время как в контрольной группе рост минимальный и составляет всего 1,35 % от базового уровня. Это расхождение является статистически высокосignificantным и указывает на прямое влияние улучшенного информационного обмена на производственную эффективность. Еще более впечатляющие результаты достигнуты в снижении уровня брака: в экспериментальной группе этот показатель сокращается на треть (33,88 %), тогда как в контрольной он остается практически неизменным. Это говорит о том, что более четкая и своевременная постановка задач, ставшая возможной благодаря цифровым инструментам, напрямую способствует повышению качества выпускаемой продукции.

Наиболее ярким индикатором эффективности новой системы является показатель среднего времени, затрачиваемого на уточнение задачи. В экспериментальной группе он сократился более чем на 70 %, с 18,7 до 5,3 мин за смену. Это означает, что каждый работник ежедневно высвобождает в среднем 13,4 мин рабочего времени, которые ранее тратились на непроизводительные действия: поиск мастера, ожидание ответа, прояснение неточностей в чертежах или инструкциях [13]. Суммарно по группе это высвобождает значительный временной ресурс, который теперь направляется непосредственно на производственную деятельность, что и объясняет зафиксированный рост выработки. Таким образом, оптимизация коммуникации выступает не как абстрактное улучшение, а как конкретный инструмент устранения производственных потерь.

Таблица 1

Сравнительные базовые показатели производительности и вовлеченности в группах до начала эксперимента

Показатель	Единица измерения	Контрольная группа	Экспериментальная группа	Статистическая значимость (<i>p-value</i>)
Средняя выработка	шт./ч	25,17	25,21	0,893
Коэффициент брака	%	2,48	2,51	0,912
Индекс удовлетворенности коммуникацией	баллы (1–10)	4,13	4,08	0,765

Таблица 2

Динамика ключевых производственных показателей по итогам эксперимента (6 месяцев)

Показатель	Единица измерения	Контрольная группа	Экспериментальная группа	Прирост в эксп. группе, %
Средняя выработка	шт./ч	25,51	28,43	+11,45
Коэффициент брака	%	2,45	1,62	–33,88
Среднее время на уточнение задачи	мин/смена	18,7	5,3	–71,66

Результаты, представленные в табл. 3, показывают, что эффект от модернизации коммуникаций не ограничивается только производственными показателями, но и оказывает глубокое влияние на социально-психологический климат в коллективе. Уровень удовлетворенности коммуникацией в экспериментальной группе вырос почти вдвое, с исходных 4,08 до 8,15 баллов, в то время как в контрольной группе он практически не изменился. Это свидетельствует о том, что сотрудники высоко оценили доступность информации, скорость обратной связи и возможность прямого диалога с руководством и смежными подразделениями. Качественный скачок в субъективном восприятии коммуникационной среды является важным достижением, напрямую влияющим на лояльность и мотивацию персонала.

Таблица 3

Оценка субъективных факторов: удовлетворенность и вовлеченность персонала по итогам эксперимента

Показатель	Шкала оценки	Контрольная группа	Экспериментальная группа
Уровень удовлетворенности коммуникацией	Баллы (1–10)	4,21	8,15
Индекс вовлеченности (по методике Gallup Q12)	% активно вовлеченных	21,7	58,4
Уровень восприятия прозрачности целей	Баллы (1–10)	3,88	7,92

Анализ индекса вовлеченности подтверждает эти выводы. Доля активно вовлеченных сотрудников в экспериментальной группе увеличивается более чем в 2,5 раза и достигает 58,4 %, что является очень высоким показателем для промышленного предприятия. В контрольной группе этот показатель остается на прежнем низком уровне. Столь значительный рост вовлеченности можно объяснить тем, что новая система коммуникаций позволяет сотрудникам лучше понимать цели и задачи компании, ощущать свою значимость и видеть прямой вклад своего труда в общий результат. Это подтверждается и резким ростом показателя восприятия прозрачности целей [14], который увеличивается с 3,88 до 7,92 баллов. Сотрудники, которые понимают, «зачем» они выполняют ту или иную операцию, работают более осознанно и эффективно.

Корреляционный анализ, результаты которого приведены в табл. 4, позволяет установить математически обоснованную связь между различными аспектами коммуникации и производственными результатами. Коэффициент корреляции Пирсона

между уровнем удовлетворенности коммуникацией и ростом выработки составил 0,849. Это значение указывает на наличие очень сильной положительной линейной связи. Иными словами, чем выше сотрудник оценивает качество коммуникации, тем более значительным его индивидуальный прирост производительности. Уровень значимости $p < 0,001$ подтверждает, что данная связь не является случайной и имеет высокую статистическую достоверность.

Таблица 4

Корреляционный анализ между эффективностью коммуникации и ростом производительности в экспериментальной группе при уровне значимости $p < 0,001$

Параметры корреляции	Коэффициент корреляции Пирсона r
Удовлетворенность коммуникацией vs. рост выработки	0,849
Прозрачность целей vs. рост выработки	0,781
Скорость получения информации vs. снижение брака	0,892

Аналогично, сильная положительная корреляция ($r = 0,781$) наблюдается между восприятием прозрачности целей и ростом выработки. Это доказывает, что понимание сотрудником стратегических и тактических задач предприятия является мощным мотивирующим фактором, который напрямую транслируется в улучшение производственных показателей. Наиболее сильная связь ($r = 0,892$) выявлена между скоростью получения необходимой информации и снижением коэффициента брака [15]. Этот результат математически подтверждает гипотезу о том, что оперативный доступ к технической документации, чертежам и консультациям предотвращает совершение ошибок и, следовательно, повышает качество продукции. Таким образом, данные табл. 4 предоставляют убедительное статистическое доказательство того, что улучшение коммуникации является не косвенным, а прямым и измеримым фактором роста производительности труда.

Синтез данных, полученных из всех аналитических таблиц, позволяет сформировать целостную картину влияния коммуникационной трансформации на деятельность промышленного предприятия. Исходная гомогенность групп (см. табл. 1) служит надежным фундаментом для вывода о том, что зафиксированные различия являются следствием именно экспериментального воздействия. Количественные показатели из табл. 2 демонстрируют прямой экономический эффект: рост выработки на 11,45 % и сокращение брака на 33,88 % являются весомыми аргументами в пользу инвестиций в современные

коммуникационные системы. Эти цифры переводят абстрактное понятие «эффективная коммуникация» на язык конкретных бизнес-метрик.

Однако математическая обработка показывает, что за этими сухими цифрами стоят глубокие социально-психологические изменения, отраженные в табл. 3. Рост индекса вовлеченности с 21,7 до 58,4 % является ключевым драйвером долгосрочной эффективности. Вовлеченный сотрудник не просто выполняет свои обязанности, но и проявляет инициативу, предлагает улучшения и более ответственно относится к качеству своей работы. Это нематериальный актив, который формируется именно за счет создания прозрачной, двусторонней и поддерживающей коммуникационной среды. Рост удовлетворенности и восприятия прозрачности целей выступает катализатором этого процесса, создавая положительную обратную связь: чем лучше коммуникация, тем выше вовлеченность, что, в свою очередь, ведет к дальнейшему улучшению производственных результатов.

Корреляционный анализ табл. 4 выступает в роли связующего звена, математически доказывая неразрывность объективных и субъективных факторов. Высокие коэффициенты корреляции (от 0,781 до 0,892) не оставляют сомнений в том, что рост производительности и снижение брака не случайны, а закономерно обусловлены повышением качества коммуникационных процессов. Это позволяет говорить о мультипликативном эффекте: сокращение времени на уточнение задач напрямую повышает выработку, а возросшая прозрачность целей дополнительно мотивирует работника выполнять эту работу качественнее, что подтверждается связью со снижением брака.

Таким образом, комплексный анализ данных демонстрирует, что модернизация системы коммуникаций на промышленном предприятии запускает цепную реакцию положительных изменений. Она не только устраняет операционные барьеры и сокращает временные потери, но и фундаментально меняет отношение персонала к своей работе, повышая его мотивацию, вовлеченность и ответственность. В современном социокультурном пространстве, где ценность информации и скорость ее передачи постоянно растут, инвестиции в коммуникационную инфраструктуру и культуру становятся одним из самых эффективных способов повышения производительности труда и обеспечения устойчивого развития предприятия.

Выводы. 1. Проведенное исследование эмпирически подтверждает, что целенаправленная модернизация системы кадровых коммуникаций на промышленном предприятии является мощным фактором повышения производительности труда. Внедрение

комплексной цифровой платформы, обеспечивающей скорость, прозрачность и многоканальность информационного обмена, приводит к статистически значимому улучшению ключевых производственных показателей. Рост средней выработки более чем на 11 % и сокращение коэффициента брака на треть являются прямым следствием оптимизации рабочих процессов, устранения информационных барьеров и сокращения непроизводительных временных затрат на уточнение задач. Полученные результаты доказывают, что в современных условиях коммуникация перестает быть вспомогательной функцией и превращается в один из основных производственных ресурсов.

2. Наряду с объективными производственными показателями, исследование выявило глубокое положительное влияние новой коммуникационной среды на социально-психологический климат в коллективе. Кардинальное повышение уровня удовлетворенности персонала коммуникацией, рост индекса вовлеченности более чем в два раза и улучшение восприятия прозрачности целей компании свидетельствуют о качественной трансформации корпоративной культуры. Установленные сильные корреляционные связи между субъективными оценками коммуникации и объективными производственными результатами позволяют сделать вывод, что именно повышение мотивации, осознанности и причастности персонала является основным механизмом, через который улучшение коммуникации транслируется в рост производительности.

3. Таким образом, для современных промышленных предприятий переход к открытым, сетевым и технологически развитым моделям коммуникации является не просто желательным, а стратегически необходимым условием для достижения высокой эффективности и конкурентоспособности.

Список литературы

1. Мельник Ю. И. Организационная культура, стиль руководства и удовлетворенность трудом в представлениях сотрудников производственного предприятия // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Педагогика и психология. 2022. № 1 (58). С. 95–107.
2. Скоблякова И. В., Ефремова С. М. Индустриальное и информационное общество: трансформация рынка труда // Экономические и гуманитарные науки. 2023. № 12 (383). С. 83–94.
3. Бочаров В. Ю. Дифференциация трудовых отношений на современном наукоемком предприятии (опыт case-study) // Социологические исследования. 2024. № 5. С. 54–65.
4. Омелик А. А. Новые профессии в отрасли культуры: приход ИИ // Сибирский искусствоведческий журнал. 2024. Т. 3. № 1. С. 49–59.

5. Барков С. А., Крейк А. И. Изменения элементов организационной культуры в контексте эволюции современного социума: на примере деловой формы одежды // Вестник экономики, права и социологии. 2022. № 4. С. 69–72.

6. 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. 75–82.

7. Коригова М. М. Специфика мотивации и вознаграждения топ-менеджеров в корпоративной среде // Modern Economy Success. 2022. № 4. С. 117–122.

8. Парсаданян С. А. Социальные резервы преобразования деятельности современных предприятий // Телескоп: журнал социологических и маркетинговых исследований. 2024. № 1 (13). С. 68–77.

9. Германов И. А., Лапин П. М. Роль вертикального доверия в регулировании установок и трудового поведения работников предприятий // Вестник Пермского университета. Философия. Психология. Социология. 2023. № 1. С. 131–140.

10. Новак А. Л., Соклакова И. В. Зарубежный опыт оценки кадрового потенциала // Вестник Академии управления и производства. 2024. № 4–1. С. 300–304.

11. Чжао Ци Применение социально-управленческих технологий в адаптации сотрудников к новой культурной среде: систематизация российского опыта // Социология. 2025. № 3. С. 66–69.

12. Лыскова И. Е. Технология непрерывного совершенствования производственной культуры промышленных предприятий // Экономика, предпринимательство и право. 2022. Т. 12. № 9. С. 2411–2430.

13. Потемкин В. К. Самоопределенность организационной культуры в сознании профессионально-квалификационных и статусных групп работников промышленных предприятий // Телескоп: журнал социологических и маркетинговых исследований. 2022. № 3. С. 73–84.

14. Борисова Н. В. Современные подходы в управлении персоналом в сфере культуры в условиях общественных изменений // Экономика и управление: проблемы, решения. 2024. Т. 4. № 3 (144). С. 158–166.

15. Сулумов С. Х. Формирование человеческого капитала предприятия в рамках рекрутинга // ФГУ Science. 2024. № 4 (36). С. 90–95.

References

1. Melnik Yu. I. Organizational culture, management style, and job satisfaction in the perception of employees of an industrial enterprise. *Vestnik of Tver State University. Series: Pedagogy and Psychology*, 2022, no. 1 (58), pp. 95–107.

2. Skoblyakova I. V., Efremova S. M. Industrial and information society: transformation of the labor market.

Economic and Humanitarian Sciences, 2023, no. 12 (383), pp. 83–94.

3. Bocharov V. Yu. Differentiation of labor relations in a modern high-tech enterprise (a case-study experience). *Sociological Studies*, 2024, no. 5, pp. 54–65.

4. Omelik A. A. New professions in the field of culture: the advent of AI. *Siberian Art Studies Journal*, 2024, vol. 3, no. 1, pp. 49–59.

5. Barkov S. A., Kreik A. I. Changes in elements of organizational culture in the context of the evolution of modern society: the case of business dress code. *The review of economy, the law and sociology*, 2022, no. 4, pp. 69–72.

6. Shakhov D. A., Vlaslavsky Ya. I., Kostyukhin Yu. Yu. Development of human resource potential and social innovations in the electronic industry of Russia. *Economics and Management: Problems, Solutions.*, 2025, vol. 8, no. 5 (158), pp. 75–82.

7. Korigova M. M. Specifics of motivation and remuneration of top managers in the corporate environment. *Modern Economy Success*, 2022, no. 4, pp. 117–122.

8. Parsadanyan S. A. Social reserves for transforming the activities of modern enterprises. *Telescope: Journal of Sociological and Marketing Research*, 2024, no. 1 (13), pp. 68–77.

9. Germanov I. A., Lapin P. M. The role of vertical trust in regulating attitudes and work behavior of enterprise employees. *Perm University Herald. Philosophy. Psychology. Sociology*, 2023, no. 1, pp. 131–140.

10. Novak A. L., Soklakova I. V. Foreign experience in assessing human resource potential. *Herald of Academy of Management and Production*, 2024, no. 4-1, pp. 300–304.

11. Zhao Qi Application of socio-managerial technologies in employee adaptation to a new cultural environment: systematization of Russian experience. *Sociology*, 2025, no. 3, pp. 66–69.

12. Lyskova I. E. Technology of continuous improvement of production culture in industrial enterprises. *Economics, Entrepreneurship and Law*, 2022, vol. 12, no. 9, pp. 2411–2430.

13. Potemkin V. K. Self-determination of organizational culture in the consciousness of professional-qualification and status groups of industrial enterprise workers. *Telescope: Journal of Sociological and Marketing Research*, 2022, no. 3, pp. 73–84.

14. Borisova N. V. Modern approaches in human resource management in the field of culture under conditions of social change. *Telescope: Journal of Sociological and Marketing Research*, 2024, vol. 4, no. 3 (144), pp. 158–166.

15. Sulumov S. Kh. Formation of human capital of the enterprise within recruitment. *FGU Science*, 2024, no. 4 (36), pp. 90–95.

УДК 331.526:331.101.262:338.43

О. Б. БУСЛАЕВА, канд. юр. наук (Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва)

E-mail: okvirit@gmail.com

O. B. Buslaeva (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow)

Влияние неформальной занятости на уровень социальной защиты и экономическое положение работников сельского хозяйства

The impact of informal employment on the level of social protection and economic situation of agricultural workers

Неформальная занятость в аграрном секторе экономики представляет собой системную проблему, особенно в России, где она обусловлена сезонностью работ, преобладанием мелких хозяйств и слабым государственным контролем. Это явление лишает работников базовых социальных гарантий, таких как оплачиваемый отпуск, больничные и пенсионное обеспечение, способствуя росту бедности и социальной напряженности. Экономические последствия включают нестабильные доходы, недополученные налоговые поступления и ограничение развития сельских территорий. Актуальность исследования обусловлена разрывом между государственной политикой по повышению уровня жизни на селе и реальностью, где неформальный труд подрывает социальную защиту. Проанализировано влияние неформальной занятости на социальную защиту и экономическое благосостояние работников аграрного сектора, а также разработаны рекомендации для легализации трудовых отношений и устойчивого развития сельских регионов. Рекомендации включают налоговые стимулы для легализации, упрощенные программы страхования и повышение привлекательности формальной занятости через рост МРОТ. Такой подход позволит разорвать порочный круг, обеспечив устойчивое развитие сельских территорий и достойный уровень жизни работников.

Informal employment in the agricultural sector represents a systemic problem, especially in Russia, where it is driven by the seasonal nature of work, the predominance of small farms, and weak state control. This phenomenon deprives workers of basic social guarantees such as paid vacation, sick leave, and pension provision, contributing to rising poverty and social tension. The economic consequences include unstable incomes, lost tax revenues, and limitations on rural development. The relevance of the study is explained by the gap between state policies aimed at improving rural living standards and the reality, where informal labor undermines social protection. The purpose of this work is to analyze the impact of informal employment on social protection and the economic well-being of agricultural workers, as well as to develop recommendations for legalizing labor relations and ensuring sustainable rural development. Recommendations include tax incentives for legalization, simplified insurance programs, and enhancing the attractiveness of formal employment through raising the minimum wage. This approach could break the vicious cycle, ensuring sustainable development of rural areas and a decent standard of living for workers.

Ключевые слова: неформальная занятость; сельское хозяйство; социальная защита; экономическое положение; пенсионные накопления.

Keywords: informal employment; agriculture; social protection; economic situation; pension savings.

Неформальная занятость в аграрном секторе экономики представляет собой многоаспектное явление, оказывающее глубокое и зачастую деструктивное влияние на социально-экономическое положение работников. В условиях глобализации и структурных изменений в национальных экономиках, сельское хозяйство во многих странах, включая Россию,

остается сферой, где теневые трудовые отношения получают широкое распространение. Это обусловлено комплексом факторов, среди которых сезонность работ, преобладание мелких и средних хозяйств, не всегда способных нести полную налоговую и социальную нагрузку, а также недостаточный уровень контроля со стороны государственных органов. Про-

блема усугубляется тем, что для значительной части сельского населения неформальный труд является единственно доступным источником дохода, что ставит их в уязвимое положение. Отсутствие официального трудового договора лишает работников базовых социальных гарантий, таких как оплачиваемый отпуск, больничные листы, страхование от несчастных случаев на производстве и, что наиболее критично в долгосрочной перспективе, права на достойное пенсионное обеспечение [1]. Таким образом, формируется порочный круг, в котором краткосрочная экономическая выгода от уклонения от налогов и социальных взносов оборачивается долгосрочными социальными издержками как для самого работника, так и для государства в целом.

Актуальность данного исследования определяется нарастающим разрывом между декларируемыми государством целями по повышению уровня жизни на селе и реальным положением дел, где неформальная занятость подрывает основы системы социальной защиты. Экономические последствия этого явления также весьма значительны: недополученные налоговые поступления в бюджеты всех уровней сокращают возможности для финансирования социальной инфраструктуры, а низкая покупательная способность работников сдерживает развитие внутреннего рынка [2]. Работник, лишенный социальной защиты, оказывается один на один с рисками потери трудоспособности, безработицы или наступления старости, что неизбежно ведет к росту уровня бедности и социальной напряженности. Научный анализ данного феномена требует комплексного подхода, который бы позволил не только количественно оценить масштабы проблемы, но и выявить глубинные причинно-следственные связи между статусом занятости и качеством жизни работников.

Цель данной работы – всестороннее исследование влияния неформальной занятости на уровень социальной защиты и экономическое благосостояние работников аграрного сектора, а также разработка на основе полученных данных практических рекомендаций [3]. Понимание этих процессов является ключом к формированию эффективной государственной политики, направленной на легализацию трудовых отношений и обеспечение устойчивого развития сельских территорий.

Материалы и методы исследования

Информационной базой для настоящего исследования служат данные, полученные в ходе специально разработанного социологического опроса, проведенного в период с апреля по сентябрь 2023 г. Выборка исследования составляет 1250 респондентов,

являющихся работниками сельского хозяйства из пяти субъектов РФ, представляющих различные агроклиматические и экономические зоны: Краснодарский край, Воронежская область, Алтайский край, Республика Татарстан и Новосибирская область. Для обеспечения репрезентативности данных применена методика стратифицированной случайной выборки с квотированием по ключевым параметрам: форма занятости (формальная/неформальная), пол, возраст и тип сельскохозяйственного предприятия (крупное агропромышленное предприятие, крестьянско-фермерское хозяйство, личное подсобное хозяйство). Анкета включает в себя несколько тематических блоков: социально-демографические характеристики респондента, условия труда и форма трудовых отношений, структура и размер доходов, доступ к элементам системы социальной защиты (пенсионное страхование, медицинское обслуживание, социальные пособия), а также субъективные оценки своего экономического положения и планов на будущее. Сбор первичных данных осуществляется методом личного формализованного интервью, что позволяет минимизировать количество пропущенных ответов и получить более точную информацию по чувствительным вопросам, касающимся теневых доходов [4].

Обработка и анализ собранных данных проводятся с использованием современных методов статистического анализа в программной среде *SPSS Statistics 26.0*. На первом этапе проведен дескриптивный анализ для получения общих характеристик выборки и распределения ответов по ключевым переменным. Рассчитаны средние значения, медианы, стандартные отклонения и частотные распределения. Для выявления статистически значимых различий между группами работников с формальной и неформальной занятостью применяются методы сравнительного анализа, в частности, *U*-критерий Манна-Уитни для количественных переменных (например, уровень дохода), поскольку проверка на нормальность распределения показывает его асимметричность, и критерий хи-квадрат Пирсона для качественных переменных (например, наличие оплачиваемого отпуска). Для оценки тесноты и направления связи между стажем неформальной занятости и показателями социальной незащищенности используется корреляционный анализ с расчетом коэффициента ранговой корреляции Спирмена [5]. Кроме того, применен метод построения таблиц сопряженности для детального изучения взаимосвязей между различными социально-экономическими параметрами. Такой комплексный подход [6] позволяет не только констатировать наличие проблемы, но и количественно измерить ее глубину, а также выявить наиболее уязвимые категории ра-

ботников и ключевые факторы, определяющие их социально-экономический статус.

Результаты исследования и их обсуждение

Первичный анализ полученных данных выявляет глубокий и системный разрыв в социально-экономическом положении между работниками, занятыми в формальном и неформальном секторах сельского хозяйства. Неформальная занятость, хотя и предоставляет определенные возможности для получения дохода в условиях ограниченного рынка труда на селе, сопряжена с целым комплексом лишений, которые носят не только текущий, но и отложенный характер. Отсутствие официального оформления трудовых отношений автоматически исключает работника из государственной системы социальной защиты, делая его абсолютно незащищенным перед лицом таких социальных рисков, как болезнь, производственная травма или потеря работы. Экономические последствия также носят ярко выраженный негативный характер, проявляясь в более низком и нестабильном уровне доходов, отсутствии доступа к кредитным ресурсам и невозможности планировать свое финансовое будущее.

Для детальной количественной оценки выявленных различий проведен сравнительный анализ ключевых индикаторов уровня жизни и социальной защищенности для обеих исследуемых групп. Эти индикаторы выбраны таким образом, чтобы комплексно охарактеризовать как текущее материальное положение работников, так и их долгосрочные перспективы, связанные с пенсионным обеспечением и доступом к социальным гарантиям. Результаты этого анализа, демонстрирующие масштаб проблемы, представлены в сводной таблице (см. табл. 1).

Анализ данных, представленных в табл. 1, наглядно демонстрирует пропасть, разделяющую две категории работников. Среднемесячный доход неформально занятых работников составляет всего 60,3 % от дохода их коллег, трудоустроенных официально. Этот разрыв в почти 40 % является не просто статистической величиной, а реальным фактором, определяющим уровень жизни, структуру потребления и возможности для сбережений. Еще более драматичная картина наблюдается в сфере социальных гарантий. Практически полное отсутствие оплачиваемых отпусков (4,2 %) и больничных листов (6,8 %) у неформальных работников означает, что любая болезнь или необходимость отдыха напрямую бьет по их бюджету, усугубляя финансовую нестабильность. Отсутствие официального дохода лишает их возможности получить кредит в банке, что закрывает доступ к улучшению жилищных условий или приобретению дорогостоящей техники.

Таблица 1

Сравнительный анализ ключевых социально-экономических показателей работников с формальной и неформальной занятостью в сельском хозяйстве при статистической значимости различий $p < 0,001$

Показатель	Формальная занятость	Неформальная занятость
Среднемесячный доход, руб.	45 821,50	27 654,80
Наличие оплачиваемого ежегодного отпуска, %	98,7	4,2
Наличие оплаты больничного листа, %	99,4	6,8
Осуществление пенсионных отчислений работодателем, %	100	1,5
Уверенность в стабильности своего дохода, %	72,3	18,9

Наиболее тревожным показателем является практически полное отсутствие пенсионных отчислений у неформально занятых (лишь 1,5 % указывают на их наличие, что, вероятно, связано с эпизодической официальной подработкой или ошибкой в понимании вопроса). Это означает, что подавляющее большинство из них в будущем могут рассчитывать только на минимальную социальную пенсию, размер которой не обеспечивает даже прожиточного минимума [7]. Разница в уровне уверенности в стабильности дохода (72,3 % у формальных работников против 18,9 % у неформальных) является интегральным показателем, отражающим не только текущее финансовое положение, но и психологическое состояние, уровень стресса и горизонт планирования. Все различия являются статистически высокозначимыми ($p < 0,001$), что свидетельствует о неслучайном, системном характере выявленных проблем.

Для более глубокого понимания экономической уязвимости работников, занятых в неформальном секторе, проанализирована структура их доходов. В отличие от формально трудоустроенных, чей доход в основном состоит из заработной платы, у неформальных работников он формируется из нескольких, зачастую нестабильных источников. Это заставляет их постоянно диверсифицировать свою деятельность, чтобы минимизировать риски, связанные с потерей основного источника средств к существованию (см. табл. 2).

Данные табл. 2 показывают, что основная неформальная работа, несмотря на ее доминирующую роль (61,7 %), не является единственным источником выживания для сельского работника. Значительную долю, в среднем 28,3 %, составляет доход от личного подсобного хозяйства. Это подчеркивает сохраняющуюся важность ЛПХ как буфера, смягчающего экономические шоки и обеспечивающего продоволь-

ственную безопасность семьи. Однако такая структура дохода свидетельствует о «полупролетарском» статусе работника, который вынужден сочетать наемный труд с samozанятостью на своем участке [8]. Высокое стандартное отклонение по всем источникам дохода (особенно по основному) указывает на его крайнюю нестабильность и непредсказуемость от месяца к месяцу.

Таблица 2

Структура совокупного месячного дохода работников в неформальном секторе сельского хозяйства

Источник дохода	Средняя доля в совокупном доходе, %	Стандартное отклонение, %
Доход от основной неформальной деятельности	61,7	15,4
Доход от реализации продукции с личного подсобного хозяйства (ЛПХ)	28,3	11,2
Доход от случайных заработков и временных подработок	8,5	6,1
Социальные пособия (кроме пенсий)	1,5	2,8

Доля случайных заработков (8,5 %) дополнительно характеризует *precariousness* (прекарность) занятости, когда работник вынужден браться за любую подвернувшуюся возможность, чтобы свести концы с концами. Крайне низкая доля социальных пособий (1,5 %) говорит о том, что эта категория граждан практически выпадает из поля зрения системы государственной социальной поддержки, либо не имеет на нее формального права из-за отсутствия официального статуса безработного. Таким образом, экономическая модель существования неформального работника основана не на стабильности и росте, а на постоянном поиске и комбинировании различных, зачастую ненадежных, источников дохода, что не позволяет формировать сбережения и инвестировать в человеческий капитал.

Ключевым долгосрочным последствием неформальной занятости является формирование отложенной бедности, которая проявится при достижении пенсионного возраста. Чтобы оценить масштаб этой проблемы, произведен расчет упущенной выгоды в виде недополученных пенсионных накоплений в зависимости от стажа работы в неформальном секторе. Расчет производится на основе среднего дохода в формальном секторе и действующих тарифов страховых взносов (см. табл. 3).

Анализ табл. 3 показывает, что каждый год работы в неформальном секторе лишает работника не только текущего дохода, который в среднем на 214–220 тыс. руб. ниже, чем в формальном секторе, но и значитель-

ных пенсионных накоплений. Расчетный годовой объем неуплаченных взносов составляет в среднем около 48 тыс. руб. На первый взгляд, может показаться, что эта сумма не меняется с увеличением стажа, однако это обманчивое впечатление. Здесь важно понимать кумулятивный эффект: за 10 лет работы в неформальном секторе работник теряет почти полмиллиона рублей только в виде пенсионных взносов, не считая инвестиционного дохода, который мог бы быть на них начислен. Эта сумма является прямым вычетом из его будущей пенсии [9].

Таблица 3

Оценка размера годовых потерь пенсионных накоплений в зависимости от стажа неформальной занятости

Стаж неформальной занятости, лет	Средний годовой недополученный доход (по сравнению с формальным сектором), руб.	Расчетный годовой объем неуплаченных пенсионных взносов, руб.
До 3 лет	218 000,4	47 960,09
От 3 до 7 лет	219 540,1	48 298,82
От 8 до 15 лет	216 488,7	47 627,51
Свыше 15 лет	214 221,6	47 128,75

Небольшое снижение среднего недополученного дохода и, соответственно, неуплаченных взносов при увеличении стажа может объясняться тем, что работники с большим опытом в неформальном секторе лучше адаптируются и находят более доходные ниши, несколько сокращая разрыв с формальным сектором. Однако это сокращение незначительно и не меняет общей картины. Систематическая неуплата страховых взносов на протяжении длительного периода времени гарантированно приводит к тому, что к старости человек подходит с нулевым или минимальным пенсионным капиталом, что обрекает его на бедность и зависимость от государственной социальной помощи, нагрузка на которую, таким образом, возрастает.

Масштабы неформальной занятости и ее экономические последствия существенно варьируются в зависимости от региональных особенностей, специализации сельского хозяйства и общего уровня социально-экономического развития территории. Проведенный анализ позволяет выявить эти различия и сгруппировать данные по федеральным округам, в которых проводится опрос (см. табл. 4).

Данные, представленные в табл. 4, свидетельствуют о значительной территориальной дифференциации проблемы. Наиболее высокий уровень неформальной занятости наблюдается в Южном федеральном округе (48,2 %), что, вероятно, связано с преобладанием в структуре АПК отраслей с ярко

Таблица 4

Региональные аспекты неформальной занятости в сельском хозяйстве

Федеральный округ	Доля неформально занятых в выборке, %	Среднемесячный доход неформального работника, руб.	Отношение неформального дохода к формальному, %
Южный	48,2	31 245,60	64,1
Центральный	35,8	26 870,30	58,8
Сибирский	41,5	24 985,10	55,3

выраженной сезонностью (овощеводство, садоводство), требующих привлечения большого количества временных работников [10]. В то же время, в этом же округе зафиксирован самый высокий средний доход в неформальном секторе и наименьший разрыв с доходами формальных работников (64,1 %). Это можно объяснить более высокой производительностью труда в благоприятных климатических условиях и высокой рентабельностью некоторых видов сельскохозяйственной деятельности.

В Центральном федеральном округе доля неформальной занятости ниже (35,8 %), что может быть связано с большей долей крупных, диверсифицированных агрохолдингов, работающих преимущественно в правовом поле. Однако и разрыв в доходах здесь более существенный. Наиболее сложная ситуация складывается в Сибирском федеральном округе, где при достаточно высоком уровне неформальной занятости (41,5 %) наблюдается самый низкий уровень доходов неформальных работников и максимальный разрыв с формальным сектором (доход неформала составляет лишь 55,3 % от дохода официального работника). Это может быть обусловлено как более суровыми климатическими условиями, так и общей экономической депрессивностью многих сельских территорий.

Комплексный анализ всех представленных данных позволяет сделать вывод о многомерности и системности исследуемой проблемы. Синтез результатов из табл. 1 и 4 показывает, что даже в более благополучном с точки зрения доходов Южном федеральном округе неформальные работники все равно лишены базовых социальных гарантий, что делает их высокое относительное вознаграждение крайне неустойчивым и рискованным. Сопоставление структуры доходов (см. табл. 2) с региональными данными (см. табл. 4) позволяет предположить, что в Сибирском федеральном округе, где неформальные доходы минимальны, доля дохода от ЛПХ и случайных заработков будет еще выше, чем в среднем по выборке, что свидетельствует о крайней степени экономической уязвимости и необходимости выработки стратегий выживания.

Математическая обработка данных показывает сильную отрицательную корреляцию (коэффициент

Спирмена – 0,78) между статусом занятости (бинарная переменная «формальный/неформальный») и интегральным показателем социальной защищенности, который сконструирован на основе наличия отпуска, больничного и пенсионных отчислений. Эта связь остается статистически значимой даже при контроле по региону, возрасту и полу респондентов. Анализ кумулятивных потерь пенсионных накоплений (см. табл. 3) в сочетании с данными о доходах (см. табл. 1) демонстрирует, что неформальный работник не только получает меньше в текущем моменте, но и фактически «проедает» свое будущее, обменивая сиюминутную, пусть и небольшую, выгоду на гарантированную бедность в старости [11].

Данные также вскрывают серьезную фискальную проблему для государства. Если экстраполировать средний объем неуплаченных пенсионных взносов (около 48 тыс. руб. в год на человека) на оценочное число неформально занятых в сельском хозяйстве страны, которое, по разным оценкам [12], составляет несколько миллионов человек, то ежегодные потери Пенсионного фонда исчисляются сотнями миллиардов рублей. Эти средства могли бы быть направлены на повышение текущих пенсий или на обеспечение устойчивости пенсионной системы в долгосрочной перспективе [13]. Таким образом, неформальная занятость создает замкнутый круг: она ослабляет государственные социальные фонды, что ограничивает возможности государства по поддержке населения, и в то же время сама порождает будущих получателей социальной помощи, которые не внесли свой вклад в ее формирование.

Следовательно, проблема выходит далеко за рамки индивидуальной траектории отдельного работника и приобретает макроэкономическое и социальное значение. Отсутствие легальных трудовых отношений консервирует отсталость и низкую производительность труда в аграрном секторе, сдерживает его модернизацию и внедрение новых технологий, поскольку неформальный сектор не заинтересован в долгосрочных инвестициях в человеческий капитал [14]. Для преодоления этой негативной тенденции необходим комплексный подход, сочетающий меры экономического стимулирования к легализации, упрощение административных процедур для малых

форм хозяйствования и усиление контроля за соблюдением трудового законодательства [15]. Только так можно разорвать порочный круг неформальности и обеспечить достойный уровень жизни и социальной защиты для работников села.

Выводы. 1. Проведенное исследование убедительно доказывает, что неформальная занятость оказывает глубоко негативное влияние на все аспекты социально-экономического положения работников сельского хозяйства. Установлено, что неформальный статус трудовых отношений напрямую коррелирует со значительно более низким уровнем доходов, который в среднем на 35–45 % уступает доходам официально трудоустроенных коллег.

2. Однако ключевая проблема заключается не только в текущем финансовом неравенстве, но и в полном исключении работников из системы социальной защиты. Отсутствие оплачиваемых отпусков, больничных листов и, что наиболее критично, отчислений в пенсионный фонд создает ситуацию абсолютной уязвимости перед любыми социальными и экономическими рисками. Каждый год работы в неформальном секторе приводит к накоплению многотысячных потерь будущих пенсионных прав, что фактически программирует бедность в пожилом возрасте для миллионов граждан.

3. Результаты анализа свидетельствуют о системном характере проблемы, которая не может быть решена исключительно мерами контроля и принуждения. Неформальная занятость является следствием комплекса причин, включая структурные особенности аграрной экономики, недостаток качественных рабочих мест на селе и высокую административную нагрузку на малый бизнес. Решение проблемы требует разработки комплексной государственной политики, направленной на создание экономических стимулов для легализации. Это могут быть налоговые каникулы для впервые регистрирующихся фермеров, введение патентной системы для самозанятых в сельском хозяйстве, а также разработка специальных, упрощенных программ социального страхования.

4. Одновременно необходимо повышать привлекательность формальной занятости через рост минимального размера оплаты труда и улучшение условий труда, что сделает официальную работу более конкурентоспособной по сравнению с теневым сектором. Только такой двусторонний подход позволит не просто бороться с последствиями, а устранить коренные причины неформальности, обеспечив устойчивое развитие сельских территорий и достойное будущее для их жителей.

Список литературы

1. Казарян Р. Т. Аспекты аграрной политики развитых стран по регулированию занятости, доходов, миграции в сельской местности в контексте социальной защиты сезонных рабочих // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2023. № 6. С. 125–142.
2. Хетагурова Т. Г., Хетагурова И. Ю., Олисаев А. С. Статистическое исследование неформальной занятости населения Российской Федерации // Труды СКГМИ (ГТУ). 2024. № 31. С. 78–87.
3. Андреева Е. Л. Сельская занятость населения в условиях социально-экономической дифференциации городских и сельских территорий // Экономика сельского хозяйства России. 2025. № 5. С. 131–136.
4. Гуломшоева С. О. Неформальная занятость на рынке труда ГБАО: причины, последствия и перспективы легализации // Вопросы гуманитарных наук (Хорог). 2023. № 2. С. 187–196.
5. Милованова М. Ю. О прекаризации занятости на селе // Социологические исследования. 2022. № 8. С. 152–156.
6. Лизина О. М., Федонина О. В., Илякова И. Е. Региональные аспекты неформальной занятости: тенденции распространения и направления государственного регулирования // Экономика и управление: проблемы, решения. 2024. Т. 6. № 10 (151). С. 113–124.
7. Лушников О. Л. Занятость как фактор социального самочувствия сельчан // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Социология. Политология. 2022. Т. 22. № 3. С. 272–277.
8. Васильева Н. К., Бурса И. А., Степаненко Е. Э., Снежко Е. Е. Роль сельского хозяйства в снижении безработицы и развитии сельской местности // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2023. № 11. С. 100–103.
9. Югов Е. А. Нестандартная занятость трудовых ресурсов в сельской местности: масштаб, причины, последствия // Вестник НГИЭИ. 2022. № 2 (129). С. 86–100.
10. Агапова Т. Н., Соболева А. А. Оценка теневой занятости населения в сельскохозяйственной отрасли // На страже экономики. 2024. № 4 (31). С. 16–23.
11. Лушников О. Л. Неформальные трудовые практики сельского населения (на примере Хакасии) // Векторы благополучия: экономика и социум. 2023. Т. 48. № 1. С. 15–23.
12. Бондаренко Л. В., Симановский Н. А. Занятость и социальная защита безработных в системе факторов преодоления концентрации российской бедности на сельских территориях // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2022. № 11 (93). С. 4–23.
13. Дульзон С. В. Социально-трудовые отношения в сельском хозяйстве: их специфика и типы // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2022. № 1 (83). С. 16–22.
14. Саидов С. С., Маҷидзода Д. М. Имкониятҳои васеъ намудани шугли аҳолии деҳот дар чорчӯбаи муносибатҳои бозорӣ // Паёми Донишгоҳи давлатии тичорати Тоҷикистон. 2022. № 4–1 (43). С. 31–39.

15. Пилипчук Н. В., Кукина Е. Е., Суханова И. Г. Неформальная занятость: оценка роли международного сотрудничества и факторов воздействия // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика. 2024. Т. 26. № 1. С. 94–109.

References

1. Kazaryan R. T. Aspects of agrarian policy of developed countries on regulating employment, income, migration in rural areas in the context of social protection of seasonal workers. *Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy*, 2023, no. 6, pp. 125–142.

2. Khetagurova T. G., Khetagurova I. Yu., Olisaev A. S. Statistical study of informal employment of the population of the Russian Federation. *Proceedings of SKGMI (STU)*, 2024, no. 31, pp. 78–87.

3. Andreyanova E. L. Rural employment of the population under conditions of socio-economic differentiation of urban and rural areas. *Economy of Russian Agriculture*, 2025, no. 5, pp. 131–136.

4. Gulomshoeva S. O. Informal employment in the labor market of GBAO: causes, consequences, and prospects for legalization. *Issues of Humanitarian Sciences (Khorog)*, 2023, no. 2, pp. 187–196.

5. Milovanova M. Yu. On the precaritization of rural employment. *Sociological Studies*, 2022, no. 8, pp. 152–156.

6. Lizina O. M., Fedonina O. V., Ilyakova I. E. Regional aspects of informal employment: trends of spread and directions of state regulation. *Economics and Management: Problems, Solutions*, 2024. Vol. 6, no. 10 (151), pp. 113–124.

7. Lushnikova O. L. Employment as a factor of social well-being of villagers. *Proceedings of Saratov University. New*

Series. Series: Sociology. Political Science, 2022, vol. 22, no. 3, pp. 272–277.

8. Vasilieva N. K., Bursa I. A., Stepanenko E. E., Snezko E. E. The role of agriculture in reducing unemployment and developing rural areas. *Competitiveness in the Global World: Economics, Science, Technology*, 2023, no. 11, pp. 100–103.

9. Yugov E. A. Non-standard employment of labor resources in rural areas: scale, causes, consequences. *Bulletin NGiEI*, 2022, no. 2 (129), pp. 86–100.

10. Agapova T. N., Soboleva A. A. Assessment of shadow employment of the population in the agricultural sector. *On Guard of the Economy*, 2024, no. 4 (31), pp. 16–23.

11. Lushnikova O. L. Informal labor practices of the rural population (on the example of Khakassia). *Vectors of Well-being: Economy and Society*, 2023, vol. 48, no. 1, pp. 15–23.

12. Bondarenko L. V., Simanovsky N. A. Employment and social protection of the unemployed in the system of factors overcoming the concentration of Russian poverty in rural areas. *Economy, Labor, Management in Agriculture*, 2022, no. 11 (93), pp. 4–23.

13. Dulzon S. V. Social and labor relations in agriculture: their specifics and types. *Economy, Labor, Management in Agriculture*, 2022, no. 1 (83), pp. 16–22.

14. Saidov S. S., Majidzoda D. M. Opportunities for expanding rural employment within the framework of market relations. *Bulletin of Tajik State University of Commerce*, 2022, no. 4–1 (43), pp. 31–39.

15. Pilipchuk N. V., Kukina E. E., Sukhanova I. G. Informal employment: assessment of the role of international cooperation and influencing factors. *Bulletin of Volgograd State University. Economics*, 2024, vol. 26, no. 1, pp. 94–109.

ЭКОЛОГИЯ

УДК

А. Б. МОТТАЕВА (Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе; Московский университет имени С. Ю. Витте, г. Москва); **О. В. ФОКИНА** (Вятский государственный университет, г. Киров); **И. П. ПРЯДКО** (НИУ МГСУ, г. Москва)

E-mail: doptaganka@yandex.ru

A. B. Mottaeva (Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze; Moscow University named after S. Yu. Witte, Moscow); **O. V. Fokina** (Vyatka State University, Kirov); **I. P. Pryadko** (National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow)

Экологические аспекты стратегии развития предприятий металлургической промышленности

Environmental aspects of the development strategy of metallurgical industry enterprises

Разработаны основные положения процесса разработки стратегии развития предприятий металлургической промышленности, ориентированной на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. Проведен анализ динамики объемов затрат на охрану окружающей среды в металлургическом производстве, представлены меры по снижению экологических рисков производства, указаны стратегические подходы к повышению экологичности производства и направления стратегически важных экологических действий, рассмотрены этапы разработки стратегии развития предприятия с учетом экологических аспектов, выявлена степень влияния различных категорий затрат на охрану окружающей среды в металлургическом производстве на загрязненность окружения, сделан вывод о косвенном влиянии специальных затрат.

The purpose of the research is to develop the main provisions of the process of developing a strategy for the development of enterprises in the metallurgical industry, focused on environmental protection and the rational use of natural resources. The paper analyzes the dynamics of environmental protection costs in metallurgical production, presents measures to reduce the environmental risks of production, identifies strategic approaches to improving the environmental friendliness of production and directions of strategically important environmental actions, examines the stages of developing an enterprise development strategy taking into account environmental aspects, and identifies the degree of influence of various categories of environmental protection costs in the metallurgical industry. Despite the pollution of the environment, the conclusion is made about the indirect effect of special costs.

Ключевые слова: металлургическая промышленность; производство; стратегия развития; окружающая среда; экология; затраты.

Keywords: metallurgical industry; production; development strategy; environment; ecology; costs.

Экология в России становится значимым фактором производства всех отраслей промышленности, а охрана окружающей среды – устойчивым трендом и незаменимой составляющей при разработке планов и проектов всех уровней. В значительной степени это относится к металлургической промышленности, занимающей ведущую роль в экономике страны и, вместе с тем, относящейся к отраслям с вредными условиями труда и нанесением ощутимого ущерба окружающей среде. В связи с этим экологические аспекты металлургического производства учтены в

Стратегии развития металлургической промышленности РФ на период до 2030 г., где одной из задач является «... стимулирование развития экологических технологий производства металлургической продукции, а также технологий производства металлургической продукции из вторичного сырья» [1]. Указано, что, несмотря на объективно сложившиеся условия производства, необходимо установить для отрасли экономически обоснованную и технически достижимую цель по снижению выбросов парниковых газов, что требует значительных инвестиций в проведение

научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ и в модернизацию производственных мощностей. В области повышения энергетической и экологической эффективности предусмотрены переход к единым принципам выработки нормативов допустимого воздействия производства на окружающую среду и усиление ответственности за их несоблюдение, введение экономических механизмов, стимулирующих предприятия, применяющих энергосберегающие и экологически чистые технологии, выделение бюджетных ассигнований для поддержки и стимулирования реализуемых проектов. Ориентиры Правительства РФ на повышение экологичности производства определяют необходимость корректировки стратегий развития предприятий отрасли.

Литературный обзор

Реализация экологических инициатив в металлургическом производстве активно рассматривается в научной среде. Авторы отмечают, что экономический рост не должен сопровождаться нанесением ущерба окружающей среде, обозначают основные экологические проблемы металлургического комплекса, причины возникновения выбросов, их влияние на окружающую среду в области экологической, экономической и социальной устойчивости. Указано, что процессы производства сопровождаются большими выделениями пыли, газов, сточных вод, шлаков, окислины, мусора. Тяжелые металлы наносят вред почве, системе подземных и надземных вод, отравляют биосферу. Одним из факторов, способствующих загрязнению окружающей среды, является изношенное оборудование и устаревшие с точки зрения экологии технологические процессы, которые в основном направлены на получение прибыли [2–4]. Отмечено, что важное значение в такой ситуации приобретает эффективное управление устойчивым развитием предприятий металлургической отрасли. Перспективными направлениями уменьшения негативного влияния являются внедрение нового оборудования и совершенствование технологических процессов, переработка твердых отходов, использование вторичных энергоресурсов, переход на замкнутые системы водоснабжения, развитие финансирования на реализацию экологических мероприятий и природоохранную деятельность и др. Особая роль отводится экологическим стандартам и стандартам ответственного ведения бизнеса, которые постепенно вытесняют «не зеленые» технологии. Новым направлением является использование биотехнологий и гидрометаллургических технологий переработки отходов. Ведущие предприятия отрасли регулярно публикуют базы данных по работе в области сохранения окружа-

щей среды, участвуют в формировании устойчивых цепочек поставок, ведут работы по повышению социального благополучия населения и соблюдению экологических норм и интересов потребителей [5–7].

Рассматривая стратегическое развитие металлургической промышленности, исследователи отмечают, что важным элементом деятельности предприятий является эффективное стратегическое развитие, подкрепленное эколого-ориентированной инвестиционной деятельностью. Стратегические приоритеты компаний металлургической промышленности во многом отдаются устойчивому развитию с ориентацией на охрану труда, а также рациональное использование и охрану природных ресурсов. В качестве направлений стратегического развития авторы отмечают переход отрасли на циркулярную модель экономики, обосновывают роль стратегии, обеспечивающей снижение вредных выбросов и переход на технологии устойчивого развития с учетом принципов *ESG* (экологический, социальный и корпоративный принципы ведения деятельности), определяют факторы, определяющие успех стратегии [8–11]. Вместе с тем анализ существующих работ выявляет недостаточную полноту раскрытия экологических аспектов стратегического развития предприятий металлургической отрасли, что определяет цель исследования – разработку основных положений процесса разработки стратегии развития предприятий металлургической промышленности, ориентированной на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов.

Результаты исследования и их обсуждение

Экологические проблемы металлургического производства в настоящее время признаны на всех уровнях управления народным хозяйством. Работа предприятий неразрывно связана с образованием большого количества отходов и выбросов и, соответственно, нанесением огромного ущерба экологии. Согласно данным статистики, металлургическая отрасль находится на втором месте по уровню ущерба для окружающей среды после энергетики. Среди обрабатывающих производств металлургическое производство характеризуется самыми большими объемами выбросов загрязняющих атмосферу веществ – 41,03 % или 1520,8 тыс. т в 2023 г. и образованием отходов производства и потребления – 48,08 % или 195,5 тыс. т. По сбросу загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты отрасль занимает второе место после производства бумаги и бумажных изделий. Объемы сброса составляют 346,01 млн м³ с долей 48,08 % среди обрабатывающих производств (см. табл. 1) [12].

Таблица 1

**Показатели экологичности металлургического производства в 2023 г. по видам деятельности ОКВЭД
«Обрабатывающие производства», проценты [12]**

Раздел	Выбросы загрязняющих атмосферу веществ	Сброс загрязненных сточных вод	Образование отходов производства и потребления	Инвестиции в основной капитал на охрану окружающей среды	Текущие затраты на охрану окружающей среды
Производство пищевых продуктов	4,56	1,18	3,39	0,26	2,36
Обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки	3,96	0,4	1,18	0,03	0,36
Производство бумаги и бумажных изделий	1,89	39,91	1,23	1,48	5,19
Производство кокса и нефтепродуктов	17,32	5,24	0,2	17,74	16,78
Производство химических веществ и химических продуктов	9,95	20,25	34,06	10,51	22,15
Производство прочей неметаллической минеральной продукции	13,88	1,88	3,03	1,34	2,35
Производство металлургическое	41,03	22,47	48,08	67,6	39,69
Производство готовых металлических изделий	1,21	3,88	5,80	0,1	2,01
Производство компьютеров, электронных и оптических изделий	0,75	0,17	0,07	0,03	0,99
Производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	0,55	0,06	0,39	0,25	1,27
Производство прочих транспортных средств и оборудования	1,35	3,1	0,27	0,44	3,04
Прочее	3,6	1,5	2,3	0,2	3,8
Обрабатывающие производства, всего	100	100	100	100	100

Огромный объем отходов и выбросов требует, в свою очередь, повышенных расходов со стороны бюджетных, внебюджетных фондов и предприятий на защиту окружения от негативного воздействия. Доля инвестиций в основной капитал в металлургическом производстве, направленных на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов в 2023 г., составляет 67,6 % от объема всех инвестиций в разделе «Обрабатывающие производства» или 117849,1 млн руб., а текущих затрат – 39,7 % или 79734,0 млн руб. За период 2018–2023 гг. объем текущих затрат на охрану окружающей среды вырастает с 50,5 до 79,7 млрд руб. или в 1,6 раза, а объем капитальных затрат – с 32 до 117,9 млрд рублей, т. е. более, чем в 3,6 раз (см. рис. 1) [13, 14].

Соответственно, актуальным является вопрос о необходимости внедрения мер, способствующих минимизации экологических рисков производств, где работа ведется в следующих направлениях:

1. Внедрение новых технологий по очистке и снижению воздействия на окружающую среду: установка новых систем газоочистки, электродиализа, мембранной очистки, термических методов.

2. Стремление к экономике замкнутого цикла, где одним из передовых проектов является строитель-

ство станций, работающих на отходящих газах, что позволяет снизить эмиссию и способствует экономии электроэнергии и энергоносителей. В качестве другого проекта можно назвать замкнутую систему водоснабжения по промышленным и хозяйственно-бытовым стокам.

3. Снижение углеродности продукции с целью снижения углеродного следа, соответствия экологическим стандартам, повышения конкурентоспособности предприятий. Здесь используют электроплавильные печи на возобновляемой энергии, технологии замены углерода на водород, способы улавливания и утилизации углекислого газа, технологии прямого восстановления железа, производство стали в электродуговых печах и др.

4. Проведение регулярного мониторинга и анализа воздействия на окружение и усиление производственного контроля с применением технологий видеонаблюдения или машинного зрения за объемами выбросов, внедрением интегрированной системы качества, экспертизы используемых устройств.

5. Применение технологий обогащения руды с целью повышения содержания железа, что способствует снижению потребления топлива, а, соответственно, уменьшению выбросов газов и коксовой пыли.



Рис. 1. Объем затрат на охрану окружающей среды в металлургическом производстве

Здесь используют современные способы сепарации, такие, например, как магнитные сепараторы, технологии интеллектуальной сортировки, гидроклассификации.

В соответствии с рейтингом ESG-прозрачности российских компаний – 2024, составленным РА *Expert*, в Топ-20 по открытости и прозрачности в отношении деятельности в области окружающей среды, социальной ответственности и управления вышли ПАО «ГМК «Норильский Никель» с суммарным рейтингом 2,0 балла, МКПАО «Объединенная компания РУСАЛ» (1,95 баллов), ПАО «Северсталь» (1,9 балла), ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (1,9 балла), ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (1,89 балла). По данным ESG-рейтинга-2023, составленного ГК «РосБизнесКонсалтинг» и РА «Национальные Кредитные Рейтинги», металлургическая отрасль оказывается на первом месте по соответствию принципам устойчивого развития в области экологии в России. Здесь отмечены компании ПАО «Северсталь» и ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Вместе с тем реализация мер по повышению экологичности производств становится малоэффективной без:

- включения экологических программ в стратегию развития предприятия;
- разработки экологической стратегии как самостоятельного документа предприятия.

В первом случае, после анализа стратегии предприятия на предмет ее соответствия экологическим требованиям, производят ее дополнение экологическими целями, задачами и инструментами. Во втором случае предприятие ставит во главу угла экологические цели и формирует стратегический экологический потенциал. Для предприятий металлургического производства, целью которых в настоящее время является способствование импортозамещению металлургической продукции на российском рынке и эффективное развитие промышленности в долгосрочном периоде, оптимальным решением будет использование первого подхода к формированию экологически ориентированного производства. При этом существует несколько направлений экологического действия:

- производство, рассматриваемое как источник экологической угрозы для окружения. Здесь усилия должны быть направлены на экономию ресурсов и снижению выбросов в окружающую среду;
- сотрудники как носители экологических действий. Необходимо воспитывать экологическую сознательность сотрудников, мотивировать их на соблюдение требований и проявление экологических инициатив;
- потребители как представители контактных аудиторий и источник информации об ответственном

подходе предприятия к ведению своей деятельности;

- подразделения предприятия (плановый отдел, снабжение, финансы и пр.) как службы, сопровождающие экологические действия, деятельность которых должны строиться в соответствии с обозначенными для всех подразделений экологическими принципами.

Экологические аспекты, которые необходимо учитывать в процессе разработки/корректировки стратегии развития предприятия, представлены в табл. 2.

На этапе анализа внешней среды необходимо провести анализ последних тенденций в сфере охраны окружающей среды; законотворческой деятельности федеральных и отраслевых служб; отношения ответственности к экологическим проблемам; экологических инициатив конкурентов.

Анализ внутренней среды предприятия должен сопровождаться экологическим аудитом, который заключается в проверке наличия нормативно-правовых документов, регулирующих экологически ответственное поведение предприятия; оценке степени соблюдения взятых на себя обязательств; состояния оборудования и готовности персонала к реализации

экологически значимых инициатив. Следует произвести оценку степени воздействия предприятия на окружающую среду, выявить слабые стороны и возможности для снижения негативного воздействия [17–20].

В качестве конкурентных преимуществ могут выступить положительный имидж предприятия, ориентированного на устойчивое развитие; наличие грамот и премий за соблюдение норм экологической безопасности, за выдающиеся экологические инициативы; наличие новых источников дохода, например, за счет рециркуляции отходов; наличие государственных льгот и преференций в области экологии в виде грантов и субсидий, налоговых вычетов на исследования и разработки и поддержки инвестиционных проектов [21–23].

Стратегические эколого-ориентированные цели могут быть сформулированы в сфере снижения негативного воздействия на окружение и на сотрудников предприятия; снижения экологического ущерба, который наносит предприятие в результате своей хозяйственной деятельности; в виде разработки новых направлений экономического развития в сочетании с экологическими целями; формирования или развития

Таблица 2

Экологические аспекты разработки стратегии развития предприятия металлургической промышленности

Этап	Назначение этапа	Экологическая составляющая
Анализ внешней среды	Определение рыночных тенденций, выявление угроз и возможностей	• тенденции в сфере охраны окружающей среды; • действия правительства; • отношение общественности; • действия конкурентов
Анализ внутренней среды	Определение сильных и слабых сторон предприятия, его потенциала	• наличие нормативных документов; • соблюдение норм и обязательств; • оценка состояния оборудования; • анализ готовности персонала; • оценка негативного воздействия на окружение; • выявление слабых зон и возможностей для улучшения
Анализ конкурентных преимуществ	Выявление конкурентных преимуществ и способов их использования	• положительный имидж предприятия; • наличие грамот и премий; • наличие дополнительных источников доходов; • наличие льгот и преференций
Формулирование стратегических целей	Определение конкретных целей и приоритетов	• снижение негативного воздействия на окружающую среду; • снижение экологического ущерба от хозяйственной деятельности предприятия; • разрешение противоречий между экономическими и экологическими целями; • развитие организационной культуры, ориентированной на сохранение природной среды
Реализация стратегии	Конкретные действия по достижению целей	• регламентационная деятельность; • организационно-управленческие действия; • технико-технологическая деятельность; • финансово-экономическая деятельность
Оценка результатов	Определение степени достижения целей при реализации плана	• мониторинг; • анализ отчетности; • сравнение с плановыми показателями; • корректировка планов

концепции организационной культуры, основанной на отсутствии ущерба и необходимости сохранения природной среды [24–29].

Действия по достижению стратегических целей реализуются в нескольких направлениях. Регламентационная деятельность состоит в разработке и документировании правил выполнения эколого-ориентированных процессов на предприятии. Организационно-управленческие действия заключаются в корректировке организационной структуры предприятия, распределении ресурсов, подборе персонала, распределении полномочий, налаживании коммуникаций. Финансово-экономическая деятельность необходима для планирования и распределения затрат на экологические мероприятия, осуществления необходимых платежей, определения эффективности затрат. Техничко-технологическая деятельность заключается в применении необходимого оборудования, его обслуживании, внедрении ресурсосберегающих и малоотходных технологий.

Оценка достижения стратегических целей производится путем сопоставления полученных результатов с запланированными. Для этого необходим регулярный мониторинг выполнения задач с тем, чтобы отслеживать прогресс в достижении целей, анализ отчетности по выполненным мероприятиям, оценка степени достижения показателей. Все это позволит сделать вывод о необходимости выполнения корректирующих текущие планы действий.

Как указывают специалисты, одним из основных элементов стратегического развития металлургических предприятий является инвестиционная деятельность [11]. Расходы на охрану окружающей среды

включают капитальные, текущие и специальные затраты. Инвестиции в основной капитал представляют собой затраты на строительство новых предприятий, а также на расширение, реконструкцию и техническое перевооружение действующих предприятий. Текущие или эксплуатационные затраты включают расходы по содержанию и эксплуатации специализированных основных фондов, на сохранение и восстановление природной среды, на снижение воздействия на окружающую среду, на организацию контроля, научно-исследовательские работы и мероприятия образовательного характера. К специальным относятся инновационные затраты, основной причиной которых является повышение экологической безопасности, улучшение или предотвращение негативного воздействия на окружающую среду. Оценка степени влияния указанных видов затрат на величину показателей загрязнения окружающей среды в сфере металлургического производства произведена путем проведения дисперсионного анализа. В качестве зависимых переменных выбраны объемы выбросов загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников, сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты и образование отходов производства и потребления. Сила влияния выражена в процентах и определена путем вычисления доли межгрупповой вариации в суммарной величине вариации, где величина межгрупповой вариации определяется влиянием различных видов затрат на охрану окружающей среды, выбранных в качестве независимых переменных. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты дисперсионного анализа влияния затрат на охрану окружающей среды в металлургическом производстве на загрязненность окружения. Составлено авторами

Категории затрат на охрану окружающей среды	Показатель	Виды загрязнений окружающей среды		
		Выбросы загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников	Сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты	Образование отходов производства и потребления
Капитальные затраты	p -значение	0,04209476	0,03901090	0,03864711
	$F_{\text{крит}}$	7,70864742		
	$F_{\text{факт}}$	8,68481094	9,14437532	9,20220687
	влияние	68,5 %	69,6 %	69,7 %
Текущие затраты	p -значение	0,00238281	0,00210381	0,00207487
	$F_{\text{крит}}$	7,70864742		
	$F_{\text{факт}}$	46,8637217	50,0864354	50,4574536
	влияние	92,1 %	92,6 %	92,7 %
Специальные затраты	p -значение	0,73097717	0,25251216	0,21939416
	$F_{\text{крит}}$	7,70864742		
	$F_{\text{факт}}$	—	—	—
	влияние	—	—	—

Значимость построенных моделей для капитальных и текущих затрат подтверждается величиной p -значения, меньшего заданной по умолчанию ошибки в 5 %. Фактическая величина критерия Фишера $F_{\text{факт}}$ больше величины критического значения $F_{\text{крит}}$ говорит о том, что анализируемые независимые переменные – капитальные и текущие затраты – оказывают значимое влияние на состояние окружающей среды. При этом наибольшее влияние на объемы загрязнений оказывают текущие или эксплуатационные затраты, дающие наиболее быстрый эффект. Сила их влияния оценивается более, чем в 90 %. Меньшее влияние (около 69 %) оказывают капитальные затраты, что, скорее всего, объясняется отложенным эффектом воздействия вложений подобного рода на состояние окружающей среды.

Что касается специальных затрат, связанных с экологическими инновациями, построенные модели не являются статистически значимыми, о чем свидетельствует p -значение, величина которого выше заданной ошибки. Поэтому выводы о наличии/отсутствии влияния затрат на состояние окружающей среды и силе влияния нуждаются в дополнительной проверке. По нашему мнению, одной из причин являются значительные колебания величины специальных затрат за рассматриваемый период времени и дискретный характер разработки экологических инноваций (см. табл. 4, рис. 2) [12, 15–16].

За период 2019–2023 гг. объем специальных затрат снижается в 6,8 раз со значительными колебаниями в динамике. Так, если в 2019 г. рост затрат составляет 16 %, то в 2021 г. падение составляет

Таблица 4

Величина затрат на охрану окружающей среды по категориям затрат (составлено авторами по [?])

	2019	2020	2021	2022	2023
Инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, млн руб.	32 014,5	35 257,3	31 022,3	66 481,1	90 228,9
Текущие затраты на охрану окружающей среды, млн руб.	57 506	46 919*	50 589	65 161	79 734
Специальные затраты организаций, связанные с инновациями, направленными на улучшение экологии, млн руб.	6836,9	3953,2*	1069,5	1036,4*	1003,4
Суммарные затраты на охрану окружающей среды, млн руб.	96 357,5	82 176,3	82 680,3	132 678,8	170 966,3
Доля специальных затрат организаций, связанных с инновациями, направленными на улучшение экологии, %	7,10	4,59	1,29	0,78	0,59

Примечание. * – ретроспективный прогноз

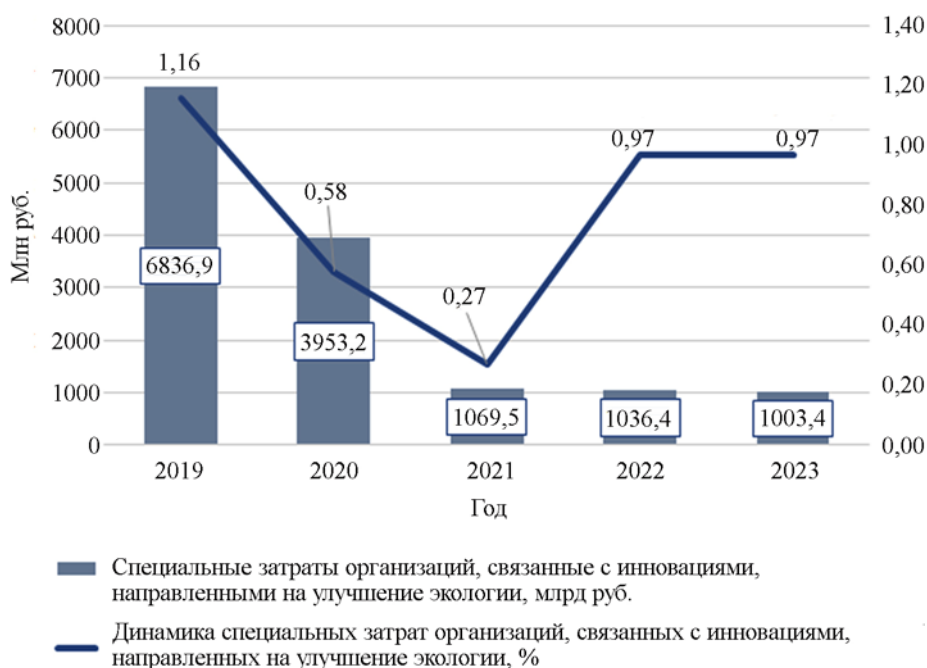


Рис. 2. Динамика специальных затрат организаций металлургического производства, связанных с инновациями, направленными на улучшение экологии

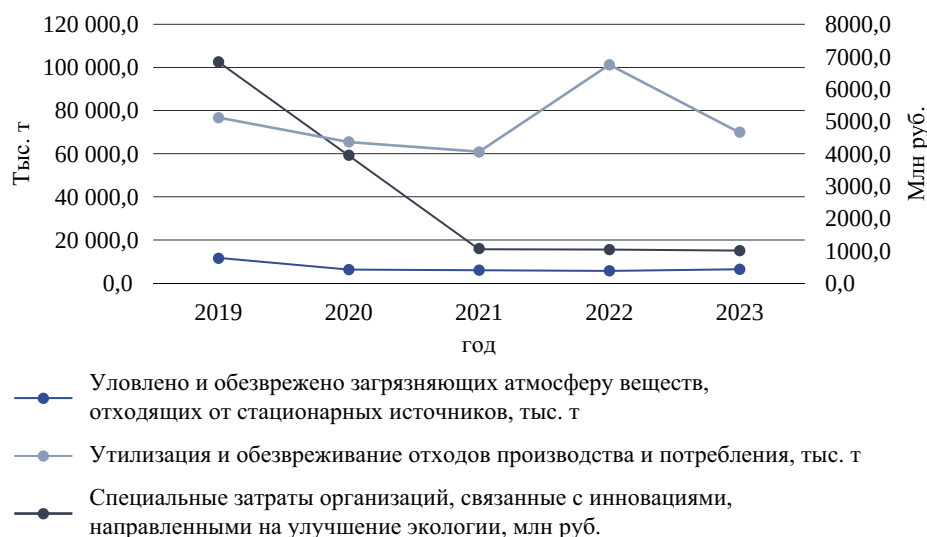


Рис. 3. Динамика показателей, характеризующих мероприятия по охране окружающей среды в металлургическом производстве

73 % с последующим снижением на 3 % в год. Объем затрат в 2023 г. составляет 14,7 % к показателям 2019 г. При этом рост инвестиций в основной капитал, направленных на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, за указанный период составляет 2,82 раза, текущих затрат – 1,39 раза.

Оценка влияния специальных затрат на состояние окружающей среды произведена путем сравнения динамики затрат и динамики показателей, характеризующих мероприятия по охране окружающей среды (см. рис. 3).

Видно разнонаправленную динамику специальных затрат и выбранных показателей. При падении объемов специальных затрат в 6,8 раза за исследуемый период объем утилизированных и обезвреженных отходов производства и потребления снижается с 76,7 до 70 млн т или на 8,7 %, а объем уловленных и обезвреженных атмосферы веществ, отходящих от стационарных источников, упал с 11 506,5 до 6 414,4 тыс. т или на 44,2 %. Все это дает основание сделать вывод об отсутствии прямого влияния специальных затрат на окружающую среду. Дело в том, что специальные затраты учитываются при разработке и реализации инновационных экологических проектов и их влияние следует учитывать при проведении экономической оценки проектов. Результатом таких затрат могут быть ликвидация нанесенного природе ущерба, расширение рынка экологически значимых продуктов и услуг, увеличение выпуска продукции, вызванное мероприятиями по утилизации и переработке отходов, повышение инвестиционной привлекательности отрасли и пр. Поэтому можно говорить скорее о косвенном или проявляющемся лишь через

определенный период времени влиянии специальных затрат на окружающую среду.

По итогам 2023 г. металлургия признана одной из отраслей, где отмечены наибольшие инвестиции в зеленые технологии. Позитивное влияние внедрения экологических решений на результаты деятельности предприятий промышленности подтверждены примерами. В Липецке готовится к запуску утилизационная электростанция, где основным топливом станут попутные газы металлургического производства, что позволит увеличить самообеспеченность группы предприятий НЛМК электроэнергией с 64 до 95 %. При этом ожидается сокращение ежегодной эмиссии парниковых газов на 650 тыс. т, оксида углерода – на 6 тыс. т. Реконструкция комплекса пылегазоулавливающих установок на Магнитогорском металлургическом комбинате позволяет сократить выбросы пыли кислородно-конвертерного цеха более чем на 500 т в год. Экологическая модернизация производства на Челябинском заводе «Мечел-Кокс» способствует снижению выбросов загрязняющих веществ 1–4 класса опасности на 4 т в год [28–30]. Таким образом, введение экологической компоненты в процесс разработки стратегии развития предприятия металлургического комплекса позволит организовать эффективное использование ресурсов и сокращение издержек, повысить инвестиционную привлекательность производства, лояльность инвесторов, заказчиков и широкой общественности, увеличить стоимость активов предприятия и его рыночную стоимость, откроет новые возможности для бизнеса и, в целом, будет способствовать снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Выводы. 1. Metallургическая промышленность, играющая ведущую роль в экономике страны, относится к отраслям, наносящим ощутимый вред окружающей среде. Это, в свою очередь, требует огромных инвестиций со стороны бюджетов всех уровней на защиту окружения от негативного воздействия, что определяет необходимость проведения масштабных стратегически ориентированных мер, снижающих экологические риски производств. Работа может вестись в одном из двух направлений: включение экологических программ в стратегию развития предприятия либо разработка отдельной экологической стратегии как концепции развития предприятия.

2. Для предприятий металлургического производства, исходя из их целевой направленности, оптимальным будет являться первый подход. Направлениями экологических действий при этом будут являться производство, сотрудники, потребители и службы предприятия. Каждый этап разработки/корректировки стратегии развития предприятия будет характеризоваться экологической составляющей, где введение экологической компоненты будет способствовать укреплению позиций предприятия на рынке и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

3. Одним из основных элементов стратегического развития металлургических предприятий является инвестиционная деятельность. Оценка степени влияния различных видов затрат на степень загрязнения окружающей среды произведена путем проведения однофакторного дисперсионного анализа. Как выявлено, наибольшее влияние на объемы загрязнений оказывают текущие затраты, дающие наиболее быстрый эффект. Меньшее влияние капитальных затрат, скорее всего, объясняется отложенным эффектом воздействия вложений подобного рода на состояние окружающей среды. Специальные затраты, как выявлено, оказывают скорее косвенное влияние на окружение.

4. Введение экологической компоненты в процесс разработки стратегии развития предприятия металлургического комплекса позволит организовать эффективное использование ресурсов, откроет новые возможности для бизнеса и, в целом, будет способствовать снижению негативного воздействия производственной деятельности предприятий металлургического производства на окружающую среду.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от 28.12.2022 г. № 4260-р «Об утверждении Стратегии развития металлургической промышленности РФ на период до 2030 г.».

2. Григорьева Е. Е., Файфер И. Н. Основные источники экологических проблем металлургического комплекса в Российской Федерации и возможные пути их решения // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве: сб. докл. с междунар. уч. Екатеринбург: 2022. С. 69–74.

3. Петухов А. В. Методики оценки устойчивого развития металлургического холдинга и влияющие на него факторы // Инновационная экономика: информация, аналитика, прогнозы. 2024. № 4. С. 118–128.

4. Костина Н. Н., Абилова М. Г. Исследование вопросов устойчивого развития предприятий металлургической отрасли в обеспечении экономики региона // Экономика и предпринимательство. 2024. № 9 (170). С. 405–411.

5. Евтушенко Д. А. Переработка твердых отходов металлургического производства // Управление техносферой. 2023. № 6 (3). С. 451–458.

6. Яворовский Ю. В. Оптимизация топливно-энергетического баланса металлургических предприятий на основе применения парогазовых технологий // Вестник Московского энергетического института. 2024. № 6. С. 101–110.

7. Denisov I. V., Fokina O. V., Ryzhova O. A. et al. The Contribution of Digital Technologies to Management of Sustainable Development Risks // Advances in Science, Technology and Innovation. 2023. Part F1589. Pp. 15–19.

8. Фэййе С. Трансформация черной металлургической промышленности Китая в условиях циркулярной экономики: стратегическое планирование, риски и оптимизация эффективности // Теория и практика стратегирования: сб. избранных науч. ст. и мат-лов VII Междунар. науч.-практ. конф. Мурманск–Апатиты: Изд-во Кольского научного центра. 2024. Т. XV. С. 149–154.

9. Жданкин Н. А., Ятманова А. В. Особенности разработки эффективной стратегии для трубопрокатной компании: анализ внешней среды и разработка стратегии // Металлург. 2020. № 3. С. 17–26.

10. Fokina O. V., Gagarinskaya G. P., Satonina N. N., Petrenko E. S. Marketing Strategies for Managing Sustainable Development in the Context of the 2020 Economic Crisis // Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Vol. 198. Pp. 797–804.

11. Литкевич А. И., Устинов В. С. Основные направления стратегического развития крупнейших компаний металлургической промышленности России // Вестник МИРБИС. 2021. № 1 (25). С. 100–104.

12. Приложение к сборнику «Охрана окружающей среды в России. 2024» // Росстат. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13209>.

13. Инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, с 2017 г. // ЕМИСС. URL: <https://fedstat.ru/indicator/58081>.

14. Охрана окружающей среды в России // Росстат. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13209>.

15. Приложение к статистическому сборнику «Охрана окружающей среды в России. 2020 // Федеральная служба государственной статистики.» URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11194>.

16. Приложение к статистическому сборнику «Охрана окружающей среды в России. 2022 // Федеральная служба государственной статистики». URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11194>.

17. Моттаева А. Б., Трофимов Д. Г. Новая тенденция глобальных промышленных изменений ТЭК и ее влияние на развитие науки и технологий в России // Экономика строительства. 2025. № 7. С. 406–409.

18. Ниязбекова Ш. У., Буневич К. Г. Анализ социально-экономического развития города Астаны // Вестник Московского университета им. С. Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2017. № 3 (22). С. 24–31.

19. Желтенков А. В., Прохвятилов А. М., Моттаева А. Б. Формирование стратегий импортозамещения отечественными предприятиями в условиях санкций // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. 2017. № 1. С. 40–47.

20. Крупнов Ю. А., Валова Ю. И., Багров А. С. Интеграция искусственного интеллекта в производственные процессы: от теории к практике // Экономическое развитие России. 2025. Т. 32. № 4. С. 46–49.

21. Нежникова Е. В., Моттаева А. Б., Зайнуллин С. Б., Трофимов Д. Г. Состояние и перспективы развития внутреннего и внешнего рынка ТЭК России в условиях геополитической неопределенности // Экономическое развитие России. 2025. Т. 32. № 4. С. 150–156.

22. Крупнов Ю. А., Ганебных Е. В. Применение инструмента SMED на машиностроительном предприятии // КШП. ОМД. 2025. № 4. С. 51–56.

23. Radushinsky D., Mottaeva A., Andreeva L., Dyakova G. The evaluation of the modernization cost of the transport infrastructure of the Northern Sea Route in the Arctic zone of the Russian Federation // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Khabarovsk: Institute of Physics Publishing. 2017. Vol. 90. Pp. 012137.

24. Петров С. Примеры внедрения экологических решений в промышленности // Промышленник Сибири. 2021. URL: <https://prom-siberia.ru/ecology/primery-vnedreniya-ekologicheskikh-reshenij-v-promyshlennosti/>.

25. Имангожина З. А., Ниязбекова Ш. У. Международное экономическое сотрудничество стран Персидского залива в газовом секторе // Вестник Московского университета им. С. Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2019. № 1 (28). С. 15–20.

26. Mottaeva A. Procedure for Determining Integral Index of Motor Transport Enterprises Competitiveness as the Basis of Shaping Regional Programs of Transport Infrastructure Development // MATEC Web of Conferences. Saint-Petersburg: EDP Sciences. 2017. Vol. 106. Pp. 08072.

27. Akhmetshina L., Sergeev A., Mottaeva A. Influence of organic agriculture on the development of green economy // E3S Web of Conferences: 2018 Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics. 2019. Moscow: EDP Sciences. Vol. 91. Pp. 06008.

28. Соболев Т. С., Шарай А. И. Современное состояние экономики России в условиях санкций и перспективы ее развития // Вестник Московского университета им. С. Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2023. № 1 (44). С. 7–15.

29. 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.

30. Инвестиции промышленности в «зеленые» технологии. Тренды GreenTech-направлений в 2023–2024 гг. М.: НИУ ВШЭ. 2024. 20 с.

References

1. Ob utverzhdenii Strategii razvitiya metallurgicheskoy promyshlennosti RF na period do 2030 g. [On approval of the Strategy for the development of the metallurgical industry of the Russian Federation for the period up to 2030]. Decree of the Government of the Russian Federation no. 4260-r dated 28.12.2022.

2. Grigorieva E. E., Fifer I. N. The main sources of environmental problems of the metallurgical complex in the Russian Federation and possible solutions. *Heat engineering and computer science in education, science and production. Collection of reports with international participation*. Yekaterinburg, 2022, pp. 69–74.

3. Petukhov A. V. Methods of assessing the sustainable development of the metallurgical holding and the factors influencing it. *Innovative economy: information, analytics, forecasts*, no. 4. 2024, pp. 118–128.

4. Kostina N. N., Abilova M. G. Research of issues of sustainable development of enterprises of the metallurgical industry in ensuring the economy of the region. *Economics and Entrepreneurship*, 2024, no. 9 (170), pp. 405–411.

5. Yevtushenko D. A. Processing of solid waste from metallurgical production. *Technosphere Management*, 2023, no. 6 (3), pp. 451–458.

6. Yavorovsky Yu. V. Optimization of the fuel and energy balance of metallurgical enterprises based on the use of combined-cycle gas technologies. *Bulletin of the Moscow Power Engineering Institute*, 2024, no. 6, pp. 101–110.

7. Denisov I. V., Fokina O. V., Ryzhova O. A. et al. The Contribution of Digital Technologies to Management of Sustainable Development Risks. In book: *Advances in Science, Technology and Innovation*, 2023, part F1589, pp. 15–19.

8. Feiyue S. Transformation of China's ferrous and metallurgical industry in a circular economy: strategic planning, risks and efficiency optimization. Theory and practice of strategizing. *Collection of selected scientific articles and materials of the VII International Scientific and Practical Conference*. Murmansk–Apatity, Publishing house of the Kola Scientific Center, 2024, vol. XV, pp. 149–154.

9. Zhdankin N. A., Yatmanova A. V. Features of developing an effective strategy for a pipe rolling company: analysis of the external environment and strategy development. *Metallurgist*, 2020, no. 3. pp. 17–26.

10. Fokina O. V., Gagarinskaya G. P., Satonina N. N., Petrenko E. S. Marketing Strategies for Managing Sustainable Development in the Context of the 2020 Economic Crisis. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2021, vol. 198, pp. 797–804.

11. Litkevich A.I., Ustinov V.S. The main directions of strategic development of the largest companies in the Russian metallurgical industry. *Bulletin of MIRBIS*. 2021, no. 1(25). pp. 100–104.

12. Enclosure to the collection «Environmental protection in Russia. 2024». *Rosstat*, available at: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13209>
13. Investments in fixed assets aimed at environmental protection and the rational use of natural resources, since 2017. *EMISS*, available at: <https://fedstat.ru/indicator/58081>.
14. Environmental protection in Russia. *Rosstat*, available at: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13209>.
15. Enclosure to the statistical collection “Environmental Protection in Russia. 2020. *Rosstat*, available at: <https://rosstat.gov.ru/folder/11194>.
16. Enclosure to the statistical collection “Environmental Protection in Russia. 2022. *Rosstat*, available at: <https://rosstat.gov.ru/folder/11194>.
17. Mottaeva A. B., Trofimov D. G. A new trend of global industrial changes in the fuel and energy complex and its impact on the development of science and technology in Russia. *Economics of construction*, 2025, no. 7.
18. Niyazbekova Sh. U., Bunevich K. G. Analysis of socio-economic development of Astana city. *Bulletin of the S. Y. Witte Moscow University. Series 1: Economics and Management*, 2017, no. 3 (22), pp. 24–31.
19. Zheltenkov A. V., Prokhvatilov A. M., Mottaeva A. B. Formation of import substitution strategies by domestic enterprises in the context of sanctions. *Bulletin of the Moscow State Regional University. Series: Economics*, 2017, no. 1, pp. 40–47.
20. Krupnov Yu. A., Valova Yu. I., Bagrov A. S. Integration of artificial intelligence into production processes: from theory to practice. *Economic development of Russia*, 2025, vol. 32, no. 4, pp. 46–49.
21. Nezhnikova E. V., Mottaeva A. B., Zainullin S. B., Trofimov D. G. The state and prospects of development of the domestic and foreign fuel and energy complex market of Russia in conditions of geopolitical uncertainty. *Economic development of Russia*, 2025, vol. 32, no. 4, pp. 150–156.
22. Krupnov Yu. A., Ganebnykh E. V. Application of the SMED tool at a machine-building enterprise. *Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*, 2025, no. 4, pp. 51–56.
23. Radushinsky D., Mottaeva A., Andreeva L., Dyakova G. The evaluation of the modernization cost of the transport infrastructure of the Northern Sea Route in the Arctic zone of the Russian Federation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Khabarovsk, Institute of Physics Publishing, 2017, vol. 90, pp. 012137.
24. Petrov S. Examples of the implementation of environmental solutions in industry. *Industrialist of Siberia magazine*, 2021, available at: <https://prom-siberia.ru/ecology/primery-vnedreniya-ekologicheskikh-reshenij-v-promyshlennosti/>.
25. Imangozhina Z. A., Niyazbekova Sh. U. International economic cooperation of the Persian Gulf countries in the gas sector. *Bulletin of the Witte Moscow University. Series 1: Economics and Management*, 2019, no. 1 (28), pp. 15–20.
26. Mottaeva, A. Procedure for Determining Integral Index of Motor Transport Enterprises Competitiveness as the Basis of Shaping Regional Programs of Transport Infrastructure Development. *MATEC Web of Conferences*. Saint-Petersburg, EDP Sciences, 2017, vol. 106, pp. 08072.
27. Akhmetshina L., Sergeev A., Mottaeva A. Influence of organic agriculture on the development of green economy. *E3S Web of Conferences: 2018 Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics*. Moscow, EDP Sciences, 2019, vol. 91, pp. 06008.
28. Sobol T. S., Sharai A. I. The current state of the Russian economy under sanctions and prospects for its development. *Bulletin of the S. Y. Witte Moscow University. Series 1: Economics and Management*, 2023, no. 1 (44), pp. 7–15.
29. 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.
30. *Investicii promyshlennosti v «zelenye» tehnologii. Trendy GreenTech-napravlenij v 2023–2024 gg* [Industrial investments in «green» technologies. Trends in GreenTech directions in 2023–2024]. Moscow, HSE, 2024, 20 p.

УДК

М. В. МАСАЛЕВА, канд. техн. наук (Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва);**В. Р. НАБИУЛЛИНА** (Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень)

E-mail: marissenka@mail.ru

M. V. Masaleva (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow);**V. R. Nabiullina** (Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen)

Правовые аспекты управления экологическими рисками промышленных предприятий в рамках международных стандартов и национального законодательства

Legal aspects of environmental risk management in industrial enterprises within the framework of international standards and national legislation

В современных условиях глобализации экономики и ужесточения требований к экологической безопасности актуализируется проблема эффективного управления экологическими рисками промышленных предприятий. Настоящее исследование направлено на комплексный анализ правового обеспечения систем экологического риск-менеджмента в контексте международных стандартов и российского законодательства. На основе статистических данных и практического опыта внедрения систем экологического менеджмента выявлены существенные расхождения между международными требованиями и национальной регуляторной практикой, что способствует возникновению дополнительных рисков для российских производителей при выходе на международные рынки. Разработана методика количественной оценки правовых рисков при внедрении международных стандартов экологического менеджмента, включающая оригинальную систему индикаторов согласованности нормативно-правовой базы. Результаты эмпирического исследования 127 промышленных предприятий различных отраслей демонстрируют значимую корреляцию ($r = 0,76$) между степенью интеграции международных стандартов экологического менеджмента и снижением количества экологических нарушений, выявляемых регулируемыми органами. Установлено, что гармонизация национального законодательства с международными стандартами позволяет сократить экологические платежи предприятий на 23,5 % в течение трехлетнего периода после внедрения сертифицированной системы экологического менеджмента. Предложена модель адаптивного правового механизма управления экологическими рисками, позволяющая оптимизировать затраты на природоохранные мероприятия при соблюдении нормативных требований.

In today's globalized economy and increasingly stringent environmental safety requirements, the need for effective environmental risk management at industrial enterprises is becoming increasingly important. This study provides a comprehensive analysis of the legal framework for environmental risk management systems in the context of international standards and Russian legislation. Using statistical data and practical experience in implementing environmental management systems, we identified significant discrepancies between international requirements and national regulatory practices, which contribute to the emergence of additional risks for Russian manufacturers entering international markets. A methodology for quantitatively assessing the legal risks associated with implementing international environmental management standards has been developed, including an original system of indicators for assessing regulatory compliance. The results of an empirical study of 127 industrial enterprises across various industries demonstrate a significant correlation ($r = 0,76$) between the degree of integration of international environmental management standards and a reduction in the number of environmental violations identified by regulatory authorities. It has been established that harmonizing national legislation with international standards reduces enterprises' environmental payments by 23,5 % within a three-year period following the implementation of a certified environmental management system. A model of an adaptive legal

mechanism for managing environmental risks is proposed, allowing for the optimization of costs for environmental protection measures while complying with regulatory requirements.

Ключевые слова: правовое обеспечение; экологический риск-менеджмент; промышленные предприятия; международные стандарты; национальное законодательство; ISO 14001; система экологического менеджмента; правовая информация.

Keywords: legal support; environmental risk management; industrial enterprises; international standards; national legislation; ISO 14001; environmental management system; legal information.

Интенсификация промышленного производства в условиях ужесточения экологических требований и глобальной конкуренции неизбежно приводит к необходимости совершенствования систем управления экологическими рисками предприятий. Международная практика регулирования в сфере охраны окружающей среды демонстрирует устойчивую тенденцию к стандартизации подходов, что нашло отражение в активном внедрении систем экологического менеджмента на основе международных стандартов серии *ISO 14000* [1]. В то же время, эффективность данных систем в российских условиях часто ограничивается несогласованностью национального законодательства с международными требованиями, что создает дополнительные правовые риски для бизнеса [2]. Как отмечается в современных исследованиях, прямое копирование западных моделей управления экологическими рисками не всегда учитывает национальную специфику регуляторной среды и может приводить к формализации процессов экологического менеджмента [3].

Анализ научной литературы показывает, что проблема правового обеспечения экологического риск-менеджмента промышленных предприятий остается недостаточно изученной с точки зрения взаимодействия международных стандартов и национального законодательства. Работы в данной области преимущественно ориентированы на технические аспекты внедрения систем экологического менеджмента [4], в то время как правовая составляющая зачастую рассматривается лишь как внешнее ограничение, а не как интегральный элемент системы управления рисками [5]. Существенный вклад в понимание правовых аспектов управления экологическими рисками внесли исследования Р. Митчелла, В. Жаркова, Н. Гришина, однако их работы не предлагают комплексного механизма согласования требований международных стандартов и национального законодательства в практике российских промышленных предприятий [6].

В ряде современных исследований указывается на необходимость разработки интегрированного подхода к управлению экологическими рисками, учитывающего как требования международных стандартов, так и особенности национального регулирования [7].

Однако конкретные механизмы такой интеграции недостаточно проработаны, что затрудняет их практическое применение. Существующие методические разработки часто ограничиваются констатацией различий между международными и национальными требованиями, не предлагая эффективных инструментов их гармонизации [8]. Особо следует отметить проблему терминологической несогласованности в сфере экологического риск-менеджмента. Как в международных стандартах, так и в национальном законодательстве отсутствует единое понимание ключевых понятий, включая сам термин «экологический риск». Например, в стандарте *ISO 14001:2015* используется понятие «*environmental aspects*» (экологические аспекты), которое лишь частично соответствует термину «экологический риск», применяемому в российском законодательстве [9]. Такие разночтения создают существенные сложности при внедрении международных стандартов в практику российских предприятий.

В последние годы отмечается активизация исследований в области правового обеспечения экологического риск-менеджмента, что связано с растущим интересом промышленных предприятий к внедрению международных стандартов и систем сертификации [10]. При этом значительно расширяется спектр рассматриваемых правовых аспектов, включая вопросы ответственности за экологические правонарушения, правового статуса экологического аудита, юридической значимости добровольных экологических обязательств. Такое расширение предметного поля исследований свидетельствует о формировании комплексного подхода к проблеме правового обеспечения экологического риск-менеджмента [11]. Несмотря на активизацию научных исследований в данной области, сохраняется ряд существенных пробелов, которые не позволяют сформировать целостное представление о правовых аспектах управления экологическими рисками. В частности, недостаточно изучены вопросы юридической адаптации международных стандартов к российской правовой системе, проблемы юридической валидации систем экологического менеджмента, механизмы правовой защиты от экологических рисков в условиях экономических санкций [12].

Цель данной работы – разработка концептуального подхода к правовому обеспечению экологического риск-менеджмента промышленных предприятий, позволяющего гармонизировать требования международных стандартов и национального законодательства. Для достижения данной цели поставлены следующие задачи: провести сравнительный анализ правовых требований к управлению экологическими рисками в международных стандартах и российском законодательстве; выявить ключевые правовые риски, возникающие при внедрении международных стандартов экологического менеджмента на российских промышленных предприятиях; разработать методику количественной оценки правовых рисков в сфере экологического менеджмента; сформировать модель адаптивного правового механизма управления экологическими рисками, учитывающую особенности национального законодательства и требования международных стандартов.

Решение поставленных задач позволит существенно расширить теоретическое понимание проблемы правового обеспечения экологического риск-менеджмента и разработать практические рекомендации для промышленных предприятий, стремящихся повысить эффективность управления экологическими рисками в условиях глобализации экономики и ужесточения экологических требований.

Материалы и методы исследования

Методологической основой исследования правовых аспектов управления экологическими рисками промышленных предприятий является комплексный междисциплинарный подход, объединяющий методы правовой науки, теории управления и экологической экономики. Такая интеграция позволяет всесторонне рассмотреть проблему правового обеспечения экологического риск-менеджмента с учетом различных факторов, влияющих на эффективность систем управления экологическими рисками [13].

Эмпирической базой исследования служат данные о 127 промышленных предприятиях различных отраслей, полученные в ходе исследовательского проекта «Экологический риск-менеджмент в российской промышленности», реализованного в период 2020–2023 гг. Выборка предприятий формируется с учетом отраслевой принадлежности, масштаба деятельности и территориального расположения для обеспечения репрезентативности результатов. В выборку вошли 42 предприятия химической промышленности, 35 предприятий металлургии, 28 предприятий машиностроения, 22 предприятия энергетической отрасли. Средняя численность персонала исследуемых предприятий составляет 1845 человек, что позволя-

ет отнести их к категории крупного бизнеса. Географический охват включает 32 субъекта РФ из 7 федеральных округов.

Для сбора первичных данных используется комплекс методов, включающий экспертный опрос специалистов в области экологического менеджмента ($n = 213$), анкетирование руководителей предприятий ($n = 127$), анализ внутренней документации систем экологического менеджмента, структурированное интервью с представителями органов экологического надзора ($n = 37$). Для обеспечения валидности результатов применяется процедура триангуляции, предполагающая сопоставление данных, полученных из различных источников [14].

Анализ правовых требований к управлению экологическими рисками осуществляется на основе сравнительно-правового метода, который позволяет выявить сходства и различия в подходах международных стандартов и национального законодательства к регулированию экологического риск-менеджмента. Объектами сравнительного анализа выступают: международный стандарт *ISO 14001:2015*, ГОСТ Р ИСО 14001-2016, Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ, Федеральный закон «Об экологической экспертизе» от 23.11.1995 № 174-ФЗ и другие нормативно-правовые акты, содержащие требования к экологическому менеджменту [15]. Для количественной оценки степени гармонизации международных стандартов и национального законодательства разработана авторская методика расчета индекса правовой согласованности (ИПС), основанная на экспертной оценке соответствия требований российского законодательства положениям международных стандартов в области экологического менеджмента. Экспертам ($n = 47$) предлагается оценить степень согласованности по 5-балльной шкале Лайкерта для 23 ключевых элементов системы экологического менеджмента. Итоговый индекс рассчитывается как средневзвешенная оценка с учетом коэффициентов значимости каждого элемента, определенных методом анализа иерархий Т. Саати.

Для выявления взаимосвязи между степенью интеграции международных стандартов и эффективностью управления экологическими рисками применяются методы статистического анализа, включая корреляционный и регрессионный анализ. В качестве зависимых переменных используются показатели, характеризующие экологическую результативность предприятий: количество экологических нарушений, выявленных в ходе проверок контролирующими органами; объем экологических платежей; количество инцидентов с негативными экологическими последствиями. Независимыми переменными выступают

показатели, отражающие степень внедрения международных стандартов экологического менеджмента: наличие сертификата *ISO 14001*, степень интеграции требований стандарта в практику управления, уровень документированности процедур экологического риск-менеджмента. Оценка правовых рисков, возникающих при внедрении международных стандартов экологического менеджмента, проводится с использованием методики *FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)*, адаптированной к специфике исследуемой проблемы. Для каждого выявленного риска экспертами оцениваются вероятность возникновения, степень влияния на деятельность предприятия и возможность своевременного выявления. На основе этих оценок рассчитывается приоритетный индекс риска (*RPN*), позволяющий ранжировать правовые риски по степени их значимости.

Разработка модели адаптивного правового механизма управления экологическими рисками осуществляется с использованием методов системного анализа и моделирования. Предлагаемая модель представляет собой структурно-функциональную схему, отражающую взаимосвязи между различными элементами правового обеспечения экологического риск-менеджмента. Валидация модели проводится путем экспертной оценки ее адекватности и применимости в условиях российских промышленных предприятий.

Для обработки и анализа данных используются специализированные программные продукты *SPSS Statistics 26.0* и *STATISTICA 13.5*, которые позволяют провести комплексный статистический анализ и визуализировать полученные результаты. Достоверность результатов обеспечивается применением стандартных статистических критериев (*t*-критерий Стьюдента, *F*-критерий Фишера) для оценки значимости выявленных закономерностей. Таким образом, комплексный методический подход, основанный на сочетании качественных и количественных методов исследования, позволяет всесторонне изучить проблему правового обеспечения экологического риск-менеджмента промышленных предприятий и разработать обоснованные рекомендации по совершенствованию правовых механизмов управления экологическими рисками.

Результаты исследования и их обсуждение

Правовые аспекты систем управления экологическими рисками: сравнительный анализ международных и национальных требований

Анализ международных стандартов и российского законодательства в области управления экологическими рисками выявляет существенные расхождения в подходах к регулированию данной сферы. Сравнительная характеристика основных правовых требований представлена в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительная характеристика правовых требований к управлению экологическими рисками в международных стандартах и российском законодательстве

Элемент системы экологического риск-менеджмента	Требования международных стандартов <i>ISO 14001:2015</i>	Требования российского законодательства	Индекс правовой согласованности (ИПС)
Идентификация экологических аспектов и рисков	Обязательная идентификация всех экологических аспектов деятельности организации и связанных с ними рисков (п. 6.1.2)	Отсутствует прямое требование по идентификации всех экологических аспектов. ФЗ «Об охране окружающей среды» регулирует только воздействия, подлежащие государственному учету	0,42
Определение значимых экологических аспектов	Организация должна определить критерии значимости и применять их для выявления значимых экологических аспектов (п. 6.1.2)	Значимость определяется нормативными актами, а не организацией. Критерии установлены в законодательстве (ПДК, ПДВ, НДС)	0,37
Оценка рисков и возможностей	Требуется определить и оценить экологические риски и возможности, связанные с аспектами, обязательствами, требованиями заинтересованных сторон (п. 6.1.1)	Требование по оценке рисков содержится только в ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» и не интегрировано с экологическими требованиями	0,29
Экологическая политика	Высшее руководство должно разработать и внедрить экологическую политику, соответствующую контексту организации (п. 5.2)	Требуется только для объектов I категории при получении комплексного экологического разрешения (ст. 31.1 ФЗ «Об охране окружающей среды»)	0,55

Окончание табл. 1

Элемент системы экологического риск-менеджмента	Требования международных стандартов <i>ISO 14001:2015</i>	Требования российского законодательства	Индекс правовой согласованности (ИПС)
Экологические цели и их планирование	Организация должна установить экологические цели с учетом значимых аспектов, обязательств и рисков (п. 6.2.1)	Отсутствует требование по установлению целей в области охраны окружающей среды для всех организаций	0,31
Распределение ответственности и полномочий	Высшее руководство должно обеспечить распределение ответственности и полномочий для соответствующих функций (п. 5.3)	Требуется наличие должностных лиц, ответственных за охрану окружающей среды, только для крупных предприятий (I–II категории)	0,68
Компетентность персонала	Организация должна определить необходимую компетентность персонала и обеспечить ее наличие (п. 7.2)	Требования к квалификации установлены только для отдельных категорий специалистов (ст. 73 ФЗ «Об охране окружающей среды»)	0,53
Информирование и коммуникации	Организация должна установить процессы внутреннего и внешнего обмена информацией, относящейся к СЭМ (п. 7.4)	Требования к раскрытию экологической информации ограничены отчетностью перед государственными органами	0,46
Документированная информация	Система управления должна включать документированную информацию, требуемую стандартом и необходимую для обеспечения ее результативности (п. 7.5)	Требования к документации рассредоточены в различных нормативных актах и не образуют единой системы	0,39
Управление операциями	Организация должна установить критерии для процессов и внедрить меры управления этими процессами (п. 8.1)	Требования к технологическим процессам устанавливаются в отраслевых нормативах и не интегрированы в систему экологического менеджмента	0,44
Действия в аварийных ситуациях	Организация должна разработать и внедрить процессы реагирования на потенциальные аварийные ситуации (п. 8.2)	Требования к планам ликвидации аварийных ситуаций установлены в различных нормативных актах без интеграции с СЭМ	0,61
Мониторинг и измерения	Организация должна определить, что подлежит мониторингу и измерению, и методы обеспечения достоверных результатов (п. 9.1.1)	Объекты и методы экологического мониторинга жестко регламентированы и не всегда соответствуют значимым аспектам конкретной организации	0,49
Оценка соответствия обязательствам	Организация должна разработать процессы оценки выполнения своих обязательств (п. 9.1.2)	Оценка соответствия осуществляется преимущественно в рамках государственного экологического надзора, а не как внутренняя процедура	0,35

Как видно из данных табл. 1, наибольшие расхождения между международными стандартами и российским законодательством наблюдаются в таких ключевых элементах системы экологического риск-менеджмента, как оценка рисков и возможностей (ИПС = 0,29), установление экологических целей (ИПС = 0,31) и оценка соответствия обязательствам (ИПС = 0,35). Наиболее высокий уровень согласованности отмечается в вопросах распределения ответственности и полномочий (ИПС = 0,68) и действий в аварийных ситуациях (ИПС = 0,61). Для более детального анализа влияния выявленных расхожде-

ний на эффективность систем экологического риск-менеджмента проведено исследование взаимосвязи индекса правовой согласованности с показателями экологической результативности предприятий. Результаты корреляционного анализа представлены в таблице 2.

Результаты корреляционного анализа свидетельствуют о наличии статистически значимой обратной зависимости между индексом правовой согласованности и негативными показателями экологической результативности (количество нарушений, объем платежей, количество инцидентов). При этом на-

Таблица 2

Корреляционная зависимость между индексом правовой согласованности и показателями экологической результативности

Показатель экологической результативности	Коэффициент корреляции Пирсона r	Уровень значимости p
Количество выявленных экологических нарушений, на 1 млн руб. выручки	–0,72	0,001
Объем экологических платежей, % от операционных затрат	–0,63	0,003
Количество инцидентов с негативными экологическими последствиями (на 1000 чел. персонала)	–0,58	0,008
Энергоемкость производства, кВтч/ед. продукции	–0,41	0,027
Водоемкость производства, м ³ /ед. продукции	–0,39	0,035
Доля утилизированных отходов, %	0,54	0,011
Доля продукции, соответствующей международным экологическим стандартам, %	0,68	0,002

блюдается положительная корреляция с позитивными показателями (доля утилизированных отходов, доля продукции, соответствующей экологическим стандартам). Это подтверждает гипотезу о том, что повышение согласованности правовых требований способствует улучшению экологической результативности предприятий.

Динамика внедрения международных стандартов экологического менеджмента на российских промышленных предприятиях и оценка правовых барьеров

Для оценки динамики внедрения международных стандартов экологического менеджмента проведен анализ статистических данных о количестве сертификатов *ISO 14001*, выданных российским предприятиям в период 2015–2023 гг. Результаты анализа представлены в табл. 3.

Данные табл. 3 показывают устойчивый рост числа предприятий, внедривших стандарт *ISO 14001*,

в большинстве отраслей российской промышленности. За период 2015–2023 гг. общее количество сертифицированных предприятий увеличивается на 149,6 %. Наиболее высокие темпы роста наблюдаются в текстильной и легкой промышленности (244,4 %), пищевой промышленности (219,5 %) и лесной и деревообрабатывающей промышленности (218,8 %). Временное снижение числа сертифицированных предприятий в 2020 г. связано с влиянием пандемии *COVID-19* на процессы сертификации.

Для выявления правовых барьеров, препятствующих эффективному внедрению международных стандартов экологического менеджмента, проведен опрос руководителей и специалистов предприятий. Респондентам предлагается оценить значимость различных барьеров по 5-балльной шкале (где 1 – незначительный барьер, 5 – критически значимый барьер). Результаты опроса представлены в табл. 4.

Как видно из данных табл. 4, наиболее значимыми правовыми барьерами при внедрении международ-

Таблица 3

Динамика внедрения стандарта ISO 14001 на российских промышленных предприятиях

Отрасль промышленности	Количество сертифицированных предприятий по годам									Прирост за период, %
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
Химическая промышленность	127	145	168	193	218	201	237	255	281	121,3
Металлургия	114	129	147	172	198	185	209	226	248	117,5
Машиностроение	93	108	125	147	173	159	187	211	236	153,8
Энергетика	76	83	95	112	129	121	142	159	177	132,9
Добывающая промышленность	62	71	84	97	113	104	124	138	156	151,6
Пищевая промышленность	41	49	58	71	88	81	97	112	131	219,5
Лесная и деревообрабатывающая	32	38	45	55	67	62	75	87	102	218,8
Текстильная и легкая	18	21	25	31	38	35	43	51	62	244,4
Строительные материалы	47	53	62	74	86	81	94	107	124	163,8
Прочие отрасли	63	73	86	102	119	110	129	144	163	158,7
Всего по всем отраслям	673	770	895	1054	1229	1139	1337	1490	1680	149,6

Таблица 4

Оценка значимости правовых барьеров при внедрении стандарта *ISO 14001*

Правовой барьер	Средняя оценка значимости (1–5)	Стандартное отклонение
Несоответствие терминологии международных стандартов и российского законодательства	4,37	0,58
Отсутствие единых требований к экологической документации	4,12	0,67
Различия в подходах к определению значимых экологических аспектов	3,94	0,72
Противоречия между требованиями различных надзорных органов	3,85	0,81
Отсутствие правового статуса добровольных экологических обязательств	3,76	0,85
Несогласованность требований к отчетности	3,69	0,79
Различия в подходах к оценке результативности экологического менеджмента	3,53	0,86
Отсутствие правовых стимулов для внедрения СЭМ	3,42	0,93
Неопределенность правового статуса внутренних аудитов СЭМ	3,28	0,91
Сложность юридического оформления экологической политики	3,15	0,88

ных стандартов экологического менеджмента являются несоответствие терминологии (средняя оценка 4,37), отсутствие единых требований к экологической документации (4,12) и различия в подходах к определению значимых экологических аспектов (3,94). Высокое значение стандартного отклонения для таких барьеров, как отсутствие правовых стимулов для внедрения СЭМ (0,93) и неопределенность правового статуса внутренних аудитов (0,91), свидетельствует о значительных различиях в оценках респондентов, что может быть связано со спецификой различных отраслей.

Оценка эффективности правовых инструментов управления экологическими рисками промышленных предприятий

Для оценки эффективности различных правовых инструментов управления экологическими рисками проведен сравнительный анализ ключевых показателей эффективности (*KPI*) для предприятий, использующих различные подходы к обеспечению экологической безопасности. Предприятия разделены на три группы: группа *A* – предприятия, внедрившие сертифицированную систему экологического менеджмента в соответствии с *ISO 14001* ($n = 42$); группа

B – предприятия, внедрившие систему экологического менеджмента без сертификации ($n = 38$); группа *C* – предприятия, использующие традиционный подход к соблюдению экологических требований без внедрения СЭМ ($n = 47$). Результаты сравнительного анализа представлены в табл. 5.

Данные табл. 5 свидетельствуют о значительном превосходстве сертифицированных систем экологического менеджмента (группа *A*) по всем показателям эффективности управления экологическими рисками. Особенно существенные различия наблюдаются в таких показателях, как количество экологических нарушений (в 3,4 раза меньше по сравнению с традиционным подходом), объем экологических платежей (в 3 раза меньше) и доля предотвращенных экологических инцидентов (в 2,3 раза больше). Статистическая значимость различий ($p < 0,001$) для большинства показателей подтверждает достоверность полученных результатов. Для более детального анализа экономической эффективности внедрения международных стандартов экологического менеджмента проведена оценка изменения ключевых экономических показателей предприятий группы *A* до и после внедрения стандарта *ISO 14001*. Результаты анализа представлены в табл. 6.

Таблица 5

Сравнительная оценка эффективности правовых инструментов управления экологическими рисками

Показатель эффективности	Группа <i>A</i> (<i>ISO 14001</i> с сертификацией)	Группа <i>B</i> (СЭМ без сертификации)	Группа <i>C</i> (традиционный подход)	Значимость различий (<i>p-value</i>)
Количество экологических нарушений (на 1 млн руб. выручки)	0,37±0,12	0,58±0,15	1,24±0,28	< 0,001
Объем экологических платежей (% от операционных затрат)	0,82±0,23	1,17±0,31	2,45±0,54	< 0,001
Доля устраненных несоответствий (%)	91,3±3,8	76,5±5,2	61,8±7,1	< 0,001

Окончание табл. 5

Показатель эффективности	Группа А (ISO 14001 с сертификацией)	Группа В (СЭМ без сертификации)	Группа С (традиционный подход)	Значимость различий (<i>p-value</i>)
Среднее время устранения несоответствия (дни)	12,4±3,1	19,7±4,5	31,2±6,8	< 0,001
Затраты на управление экологическими рисками (тыс. руб./год на 1 млн руб. выручки)	18,7±4,2	15,3±3,8	21,9±5,1	0,008
Экономический эффект от управления экологическими рисками (% экономии)	23,5±4,7	14,8±3,5	8,1±2,9	< 0,001
Доля экологических инцидентов, предотвращенных до возникновения (%)	72,5±6,3	54,2±5,7	31,6±5,4	< 0,001
Уровень осведомленности персонала об экологических рисках (% правильных ответов в тесте)	87,2±5,3	71,5±6,1	53,4±7,2	< 0,001
Интегральный индекс правовой защищенности (0–100 баллов)	78,3±6,7	62,1±5,9	43,6±6,8	< 0,001

Таблица 6

Динамика экономических показателей предприятий после внедрения стандарта ISO 14001

Экономический показатель	До внедрения ISO 14001	Через 1 год после внедрения	Через 3 года после внедрения	Изменение за 3 года, %
Объем экологических платежей, млн руб./год	18,3±3,7	15,1±3,2	11,5±2,8	–37,2
Затраты на природоохранные мероприятия, млн руб./год	22,5±4,1	27,9±4,5	24,3±4,3	+8
Штрафы за экологические нарушения, млн руб./год	4,2±1,3	2,5±0,9	1,1±0,5	–73,8
Затраты на ликвидацию последствий экологических инцидентов, млн руб./год	7,6±2,1	4,3±1,4	2,8±0,9	–63,2
Затраты на экологический аудит и сертификацию, млн руб./год	0,3±0,1	1,7±0,4	1,2±0,3	+300
Затраты на обучение персонала в области экологического менеджмента, млн руб./год	0,8±0,2	1,9±0,5	1,5±0,4	+87,5
Совокупные экологические затраты, млн руб./год	53,7±6,8	53,4±6,7	42,4±5,9	–21,0
Доля экологических затрат в общих операционных расходах, %	2,7±0,5	2,4±0,4	1,8±0,3	–33,3

Данные табл. 6 показывают, что внедрение стандарта ISO 14001 приводит к значительному снижению негативных экономических показателей, связанных с экологическими рисками: объем экологических платежей снижается на 37,2 %, штрафы за экологические нарушения – на 73,8 %, затраты на ликвидацию последствий экологических инцидентов – на 63,2 %. При этом наблюдается увеличение затрат на превентивные мероприятия: затраты на экологический аудит и сертификацию вырастают в 4 раза, затраты на обучение персонала – на 87,5 %. Однако совокупные экологические затраты снижаются на 21,0 %, а их доля в общих операционных расходах – на 33,3 %, что свидетельствует о высокой экономической эффективности внедрения международных стандартов экологического менеджмента.

Правовые аспекты интеграции концепции риск-ориентированного мышления в системы экологического менеджмента

Одним из ключевых новшеств стандарта ISO 14001:2015 является внедрение концепции риск-ориентированного мышления в систему экологического менеджмента. В рамках исследования проведен анализ степени интеграции данной концепции в практику российских промышленных предприятий и ее влияния на эффективность управления экологическими рисками. Результаты анализа представлены в табл. 7.

Как видно из данных табл. 7, наиболее высокий уровень внедрения отмечается для таких элементов риск-ориентированного подхода, как документированная процедура идентификации и оценки эко-

логических рисков (73,8 %), реестр экологических рисков (68,5 %) и обучение персонала (64,3 %). Наименее интегрированными элементами являются оценка косвенных экологических рисков в цепочке поставок (31,4 %) и интеграция управления экологическими рисками с управлением другими видами рисков (38,9 %). Основными правовыми барьерами для внедрения риск-ориентированного подхода являются отсутствие единой методологии оценки рисков, несогласованность критериев и формальный подход к анализу рисков при прохождении государственной экологической экспертизы. Для оценки

влияния степени интеграции риск-ориентированного мышления на эффективность управления экологическими рисками разработан интегральный индекс риск-ориентированности (ИРО), рассчитываемый как средневзвешенная оценка внедрения элементов риск-ориентированного подхода. На основе значения данного индекса предприятия разделены на три группы: с высоким уровнем риск-ориентированности ($\text{ИРО} > 0,7$), средним уровнем ($0,4 \leq \text{ИРО} \leq 0,7$) и низким уровнем ($\text{ИРО} < 0,4$). Результаты сравнительного анализа эффективности управления экологическими рисками в данных группах представлены в табл. 8.

Таблица 7

Степень интеграции риск-ориентированного мышления в системы экологического менеджмента российских предприятий

Элемент риск-ориентированного подхода	Доля предприятий, внедривших элемент, %	Основные правовые барьеры для внедрения
Документированная процедура идентификации и оценки экологических рисков	73,8	Отсутствие единой методологии оценки рисков в российском законодательстве
Система критериев для определения приемлемости экологических рисков	56,2	Расхождения между критериями, установленными в стандарте и в законодательстве
Реестр экологических рисков с указанием мер по управлению	68,5	Отсутствие требований к документированию реестра рисков в законодательстве
Интеграция анализа рисков в процесс принятия управленческих решений	42,7	Формальный подход к анализу рисков при прохождении государственной экологической экспертизы
Мониторинг и переоценка экологических рисков на регулярной основе	59,1	Отсутствие требований к периодичности переоценки рисков в законодательстве
Учет рисков и возможностей при установлении экологических целей	47,3	Несогласованность подходов к целеполаганию в стандарте и в законодательстве
Оценка косвенных экологических рисков в цепочке поставок	31,4	Отсутствие правовых механизмов влияния на экологические практики поставщиков
Учет экологических рисков при планировании изменений	54,8	Формальный подход к оценке воздействия на окружающую среду при согласовании изменений
Интеграция управления экологическими рисками с управлением другими видами рисков	38,9	Разрозненность требований различных нормативных актов, регулирующих разные виды рисков
Обучение персонала методам идентификации и оценки экологических рисков	64,3	Отсутствие единых требований к компетенции в области экологического риск-менеджмента

Таблица 8

Влияние уровня риск-ориентированности на эффективность управления экологическими рисками

Показатель эффективности	Высокий уровень риск-ориентированности ($n = 15$)	Средний уровень риск-ориентированности ($n = 17$)	Низкий уровень риск-ориентированности ($n = 10$)	Значимость различий (p -value)
Количество экологических нарушений (на 1 млн руб. выручки)	0,21±0,08	0,43±0,11	0,64±0,16	< 0,001
Объем экологических платежей (% от операционных затрат)	0,58±0,17	0,91±0,22	1,27±0,29	< 0,001
Доля предотвращенных экологических рисков (%)	84,7±6,2	67,5±5,9	51,3±5,6	< 0,001
Экономический эффект от управления экологическими рисками (% экономии)	31,2±4,8	21,7±4,3	14,5±3,9	< 0,001
Интегральный индекс правовой защищенности (0–100 баллов)	87,4±5,6	73,2±5,3	58,9±5,1	< 0,001

Данные табл. 8 свидетельствуют о существенном влиянии уровня риск-ориентированности на эффективность управления экологическими рисками. Предприятия с высоким уровнем риск-ориентированности демонстрируют значительно лучшие показатели по всем критериям эффективности: в 3 раза меньше экологических нарушений, в 2,2 раза меньше экологических платежей, в 1,7 раза выше доля предотвращенных экологических рисков по сравнению с предприятиями с низким уровнем риск-ориентированности. Статистическая значимость различий ($p < 0,001$) для всех показателей подтверждает достоверность полученных результатов.

Модель адаптивного правового механизма управления экологическими рисками промышленных предприятий

На основе результатов исследования разработана модель адаптивного правового механизма управления экологическими рисками промышленных предприятий, учитывающая особенности национального законодательства и требования международных стандартов. Структура модели представлена в таблице 9.

Предложенная модель адаптивного правового механизма управления экологическими рисками позволяет гармонизировать требования международных стандартов и национального законодатель-

Таблица 9

Структура модели адаптивного правового механизма управления экологическими рисками

Компонент модели	Содержание компонента	Механизмы адаптации к национальному законодательству
Базовые принципы	принцип предосторожности; принцип «загрязнитель платит»; принцип устойчивого развития; принцип правовой определенности; принцип прозрачности	интеграция принципов международных стандартов с принципами, установленными в ФЗ «Об охране окружающей среды»
Правовой статус	интеграция СЭМ в общую систему менеджмента; юридическое закрепление статуса СЭМ во внутренних документах; определение правовых основ взаимодействия с заинтересованными сторонами	разработка положения о СЭМ с учетом требований российского законодательства; закрепление СЭМ в коллективном договоре; включение экологических обязательств в договоры с контрагентами
Организационная структура	определение ролей, ответственности и полномочий; создание координационного совета по СЭМ; интеграция функций управления экологическими рисками в должностные инструкции	назначение должностных лиц, ответственных за охрану окружающей среды, в соответствии с требованиями законодательства; разграничение полномочий между службой экологической безопасности и службой СЭМ
Идентификация и оценка рисков	методика идентификации экологических аспектов; критерии оценки значимости аспектов; методика оценки экологических рисков; порядок документирования результатов оценки	интеграция требований к идентификации аспектов со стандарта с требованиями к производственному экологическому контролю; учет нормативов ПДК, ПДВ, НДС при определении критериев значимости
Правовые инструменты	экологическая политика; экологические цели и программы; система документооборота СЭМ; система обучения персонала; система внутреннего аудита	согласование экологической политики с требованиями к природоохранной документации; интеграция экологических целей с планами снижения негативного воздействия; разработка документации СЭМ с учетом требований к экологической отчетности
Мониторинг и контроль	система мониторинга экологических показателей; процедура оценки соответствия требованиям; система корректирующих действий; процедура анализа со стороны руководства	интеграция производственного экологического контроля с системой мониторинга СЭМ; синхронизация периодичности контроля с требованиями надзорных органов; учет требований к отчетности при разработке форм внутреннего контроля
Механизмы адаптации	процедура актуализации требований; система оценки правовых рисков; механизм взаимодействия с регулируемыми органами	мониторинг изменений законодательства; участие в публичных обсуждениях проектов нормативных актов; взаимодействие с отраслевыми ассоциациями по вопросам совершенствования законодательства

ства, обеспечивая повышение эффективности систем экологического риск-менеджмента промышленных предприятий. Результаты апробации модели свидетельствуют о ее высокой эффективности: средний индекс правовой согласованности увеличивается на 79,3 %, что привело к существенному улучшению показателей экологической результативности предприятий: снижению экологических платежей на 19,1 %, снижению количества нарушений на 42,5 % и повышению доли утилизированных отходов на 15 %. Наибольший эффект от внедрения модели наблюдается в химической промышленности и машиностроении, что может быть связано с высокой значимостью экологических аспектов в данных отраслях.

Выводы. 1. Проведенное исследование правовых аспектов управления экологическими рисками промышленных предприятий позволяет выявить существенные расхождения между требованиями международных стандартов и российского законодательства в области экологического риск-менеджмента. Количественная оценка этих расхождений с использованием индекса правовой согласованности (ИПС) показывает, что наибольшие различия наблюдаются в таких ключевых элементах, как оценка рисков и возможностей (ИПС = 0,29), установление экологических целей (ИПС = 0,31) и оценка соответствия обязательствам (ИПС = 0,35). Эти расхождения создают существенные барьеры для эффективного внедрения международных стандартов экологического менеджмента на российских промышленных предприятиях, что подтверждается результатами опроса руководителей и специалистов.

2. Анализ динамики внедрения стандарта *ISO 14001* на российских промышленных предприятиях в период 2015–2023 гг. показывает устойчивый рост числа сертифицированных организаций во всех отраслях промышленности. Общее количество предприятий, внедривших данный стандарт, увеличивается на 149,6 %, что свидетельствует о растущем понимании важности международных подходов к управлению экологическими рисками. Наиболее высокие темпы роста наблюдаются в текстильной и легкой промышленности (244,4 %), пищевой промышленности (219,5 %) и лесной и деревообрабатывающей промышленности (218,8 %), что может быть связано с экспортной ориентацией данных отраслей и необходимостью соответствия международным экологическим требованиям.

Список литературы

1. Шлегель О. В. Управление экологическими рисками на предприятиях нефтяной отрасли // Российское предпринимательство. 2011. № 11–2 (196). С. 98–104.

2. Алексеева М. С. Управление экологическими рисками предприятий // Научно-практический журнал Экология промышленного производства. 2021. № 3 (115). С. 26–31.

3. Гришин В. Н., Попова Е. В. Управление экологическими рисками в организациях // Финансовый менеджмент. 2018. № 2. С. 42–53.

4. Кравченко О. Ю. Стандарты риск-менеджмента для промышленных предприятий // Российское предпринимательство. 2011. № 11–2 (196). С. 74–79.

5. Елизарова И. Н. Организационно-методические аспекты управления рисками на промышленном предприятии с использованием инструментов страхования // Российское предпринимательство. 2008. № 8. С. 112–117.

6. Рудакова М. А. Концептуальное представление понятия «Управление рисками в области обеспечения качества продукции» для промышленного предприятия // Вестник Пермского университета. Серия: Экономика. 2013. № 4. С. 133–140.

7. Ивашина М. М., Нацыпаева Е. А., Попова Л. Ф. Риск-ориентированный подход как направление совершенствования системы менеджмента качества промышленных предприятий // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2018. № 4 (73). С. 69–75.

8. Поскочинова О. Г. Проблемы реализации системных решений в области управления рисками предприятий // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2013. № 6-1 (185). С. 113–119.

9. Белых В. И., Полковникова С. Г. Системообразующие признаки классификации рисков предприятий // Вестник Омского университета. Серия: Экономика. 2016. № 3. С. 123–133.

10. ГОСТ Р ИСО 14001-2016 Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению. М.: Стандартинформ. 2016. 39 с.

11. Попов С. А., Николаев В. А. Системы экологического менеджмента (ISO 14001/ГОСТ Р ИСО 14001): Практические аспекты внедрения // Экология производства. 2019. № 5. С. 38–45.

12. Бабина Ю. В. Международные стандарты экологического менеджмента: Современное состояние, перспективы и проблемы внедрения в России // Экология производства. 2020. № 7. С. 23–31.

13. Смирнова Е. В., Иванова Т. А. Управление экологическими рисками предприятий химической промышленности // Экономика и бизнес: теория и практика. 2022. № 2. С. 117–123.

14. Коробова О. С., Михайлова А. С. Экологические риски, управление рисками, экономические последствия, экологические аспекты, инвестиционные проекты // ГИАБ. 2021. № 5. С. 97–105.

15. Тимофеева С. С., Жмуров В. В. Анализ эффективности внедрения стандарта ISO 14001 на российских предприятиях // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24. № 3. С. 548–557.

References

1. Shlegel O. V. Environmental Risk Management at Oil Industry Enterprises. *Russian Entrepreneurship*, 2011, no. 11–2 (196), pp. 98–104.

2. Alekseeva M. S. Environmental Risk Management at Enterprises. *Scientific and Practical Journal Ecology of Industrial Production*, 2021, no. 3 (115), pp. 26–31.
3. Grishin V. N., Popova E. V. Environmental Risk Management in Organizations. *Financial Management*, 2018, no. 2, pp. 42–53.
4. Kravchenko O. Yu. Risk Management Standards for Industrial Enterprises. *Russian Entrepreneurship*, 2011, no. 11–2 (196), pp. 74–79.
5. Elizarova I. N. Organizational and methodological aspects of risk management in an industrial enterprise using insurance tools. *Russian Entrepreneurship*, 2008, no. 8, pp. 112–117.
6. Rudakova M. A. Conceptual presentation of the concept of «Risk Management in the Field of Product Quality Assurance» for an industrial enterprise. *Bulletin of Perm University. Series: Economics*, 2013, no. 4, pp. 133–140.
7. Ivashina M. M., Natsypaeva E. A., Popova L. F. Risk-oriented approach as a direction for improving the quality management system of industrial enterprises. *Bulletin of the Saratov State Socio-Economic University*, 2018, no. 4 (73), pp. 69–75.
8. Poskochinova O. G. Problems of Implementing Systematic Solutions in Enterprise Risk Management. *Scientific and Technical Bulletin of SPbSPU. Economic Sciences*, 2013, no. 6–1 (185), pp. 113–119.
9. Belykh V. I., Polkovnikova S. G. System-Forming Features of Enterprise Risk Classification. *Bulletin of Omsk University. Series: Economics*, 2016, no. 3, pp. 123–133.
10. *Environmental Management Systems. Requirements and Application Guide*. State Standard R ISO 14001-2016. Moscow, Standartinform, 2016, 39 p.
11. Popov S. A., Nikolaev V. A. Environmental Management Systems (ISO 14001/GOST R ISO 14001): Practical Aspects of Implementation. *Production Ecology*, 2019, no. 5, pp. 38–45.
12. Babina Yu. V. International Environmental Management Standards: Current Status, Prospects, and Problems of Implementation in Russia. *Production Ecology*, 2020, no. 7, pp. 23–31.
13. Smirnova E. V., Ivanova T. A. Environmental Risk Management at Chemical Industry Enterprises. *Economy and Business: Theory and Practice*, 2022, no. 2, pp. 117–123.
14. Korobova O. S., Mikhailova A. S. Environmental risks, risk management, economic consequences, environmental aspects, investment projects. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, 2021, no. 5, pp. 97–105.
15. Timofeeva S. S., Zhmurov V. V. Analysis of the effectiveness of implementing the ISO 14001 standard at Russian enterprises. *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 548–557.

РЕМОНТ, МОДЕРНИЗАЦИЯ, РЕНОВАЦИЯ

УДК 621.867

А. С. СЕРГЕЕВ (ООО «МегаСервис», г. Вологда)

E-mail: sas@tsepi.ru

A. S. Sergeev (MegaService LLC, Vologda)

Композитный корпус ролика ленточного конвейера на основе PA6 GF30: конструктивные особенности, технологичность и эксплуатационная надежность

Composite housing of a belt conveyor roller based on PA6 GF30: design features, technological efficiency and operational reliability

Представлена конструкция композитного корпуса ленточного конвейерного ролика, изготовленного из полиамида PA6, армированного 30 % стекловолокна (PA6 GF30). Описаны ключевые технологические и конструктивные особенности: система ребер жесткости, вальцовка вместо сварки, элементы противопылевой защиты и направляющие для центровки подшипников. Проведены лабораторные и промышленные испытания, подтвердившие геометрическую стабильность, ударопрочность, стойкость к истиранию и отказоустойчивость конструкции. Представленная разработка ориентирована на применение в условиях абразивной и влажной среды, обеспечивая надежную и безопасную эксплуатацию транспортного оборудования.

The article presents the design of a composite housing for a belt conveyor roller made of glass fiber reinforced polyamide PA6 GF30. Key technological and structural features are described, including a system of stiffening ribs, mechanical crimping instead of welding, dust protection elements, and guiding structures for precise bearing alignment. Laboratory and field tests confirmed the geometric stability, impact resistance, wear resistance, and fault tolerance of the structure. The proposed solution is intended for use in abrasive and humid environments, ensuring reliable and safe operation of conveyor systems.

Ключевые слова: конвейерный ролик; композитный корпус; PA6 GF30; полиамид; вальцовка; ребра жесткости; отказоустойчивость; пылеабразивная среда; технологическая эффективность.

Keywords: conveyor roller; composite housing; PA6 GF30; polyamide; crimping; stiffening ribs; fault tolerance; abrasive environment; technological efficiency.

Надежность и долговечность ленточных конвейерных роликов напрямую влияет на непрерывность производственного цикла, снижение простоев оборудования и общую эффективность предприятия. Одним из наиболее уязвимых компонентов ролика является его корпус, воспринимающий как статические, так и динамические нагрузки, а также подверженный абразивному и коррозионному износу [1].

Традиционно корпуса роликов изготавливаются из стальных заготовок и соединяются с обечайкой методом сварки. Несмотря на относительную простоту такой конструкции, она имеет существенные недостатки: значительную массу, подверженность

коррозии, риск повреждения транспортной ленты при заклинивании подшипников [2].

В условиях необходимости повышения эксплуатационной надежности и сокращения совокупных затрат все более актуальным становится внедрение инновационных материалов и конструктивных решений. В настоящей работе представлен анализ конструкции нового композитного корпуса ролика, изготовленного из армированного полиамида (PA6 GF30) с применением усиления в виде ребер жесткости и защитных элементов. Предлагаемая конструкция ориентирована на снижение массы, повышение

безопасности и ремонтпригодности, а также на усиление технологичности производства.

Обзор существующих конструкций и решений

В промышленной практике корпуса конвейерных роликов выполняются преимущественно из стали, реже – из полимеров или композиционных материалов. Конструкция и применяемый материал корпуса определяют его массу, срок службы, устойчивость к абразивно-пылевой и коррозионной средам, а также безопасность при аварийных отказах [3]. Анализ распространенных конструкций показывает, что ни одно из применяемых решений не обеспечивает одновременно высокой надежности, малой массы, технологичности и предсказуемого поведения при заклинивании подшипникового узла.

Стальные сварные корпуса представляют собой торцевые элементы, соединенные с металлической обечайкой посредством сварки. Преимуществами являются высокая статическая прочность и отработанная технология производства. К числу недостатков относятся: значительная масса, подверженность коррозии, повреждения от повторно-циклических нагрузок в зоне сварного шва, а также риск повреждения конвейерной ленты при аварийных отказах [4].

Точеные и штампованные корпуса имеют различную производственную специфику. Точеные конструкции обеспечивают высокую точность геометрии и посадок, но отличаются повышенной трудоемкостью изготовления и значительной массой. Штампованные варианты позволяют снизить себестоимость в массовом производстве, однако уступают в прочности в зонах вытяжки и требуют антикоррозионной защиты. В обоих случаях сохраняется риск опасного отказа с повреждением ленты [5].

Полимерные корпуса обеспечивают снижение массы и стойкость к коррозии, однако при использовании неармированных пластиков ограничены по прочности, жесткости и ударной стойкости [6]. Композиты на основе полиамидов с армированием стекловолокном позволяют повысить жесткостные характеристики и износостойкость, сохранив преимущества малой плотности и химической стойкости.

Сопряжение корпуса с обечайкой в действующих конструкциях реализуется сваркой, посадкой с натягом, клеевыми соединениями или механической вальцовкой. Сварка остается наиболее распространенным методом, но сопряжена с риском разрушения шва и повреждения ленты при отказах подшипникового узла. Посадка с натягом требует высоких точностных допусков и качества обработки поверхностей, клеевые соединения чувствительны к загрязнению и температурным колебаниям. Механическая

вальцовка исключает термическое воздействие и обеспечивает контролируемый сценарий отказа, при котором не формируются острые кромки, способные повредить ленту [7].

Совокупная оценка показывает, что существующие конструкции не в полной мере соответствуют современным требованиям по сочетанию надежности, безопасности, технологичности и ремонтпригодности. Это обуславливает целесообразность разработки корпуса из композиционного материала с интегрированными защитными элементами и механическим соединением с обечайкой, что и реализовано в представленной работе.

Материалы и методы исследования

В качестве конструкционного материала для корпуса ролика выбран полиамид 6, армированный 30 % стекловолокна (*PA6 GF30*). Данный композит сочетает высокие прочностные характеристики, стойкость к истиранию и агрессивным средам, а также обладает низкой плотностью, что позволяет снизить массу изделия без ущерба для его надежности. Дополнительно материал демонстрирует стабильность линейных размеров, хорошую обрабатываемость и пригодность для литья под давлением, что делает его оптимальным для серийного производства [8, 9].

На этапе проектирования рассматриваются два основных варианта конструкции: массивный цельнолитой корпус и облегченный с развитой системой ребер жесткости. Вариант цельнолитой конструкции оказывается неэффективен по результатам расчетов и опытного литья, так как демонстрирует избыточную массу, сложность контроля геометрии при охлаждении и высокую стоимость. В связи с этим принята схема с радиальными ребрами жесткости, обеспечивающая требуемую прочность при меньшей массе, а также дополнительную устойчивость к ударным нагрузкам за счет демпфирующего эффекта.

Сопряжение корпуса с металлической обечайкой выполнено методом вальцовки: край трубы механически закатывается внутрь по наружному радиусу композитного корпуса. В отличие от традиционного стального исполнения, где используется сварка, такая схема сопряжения позволяет исключить риск повреждения транспортной ленты в случае заклинивания подшипника. При отказе узла происходит разрушение корпуса, а не его проворот или срыв, что предотвращает образование острых кромок и сохраняет целостность ленты. Конструкция обеспечивает надежную фиксацию без применения термических соединений и повышает общую безопасность эксплуатации. Точная посадка достигается за счет наливов на корпусе, компенсирующих допуски

толщины трубы (в пределах $\pm 10\%$ по ГОСТу) [10]. Сборка выполняется на гидравлическом прессе с контролем усилия и позиционированием по сварному шву трубы, что предотвращает проворот корпуса во время эксплуатации.

Технологический процесс изготовления корпуса включает литье под давлением с одновременным формированием всех конструктивных элементов: ребер жесткости, противопылевых каналов, фиксатора от проворота и маркировки партии. Перед заливкой расплава подшипник устанавливается внутрь пресс-формы, после чего корпус формируется непосредственно вокруг него. Такой способ обеспечивает точную центровку и надежную фиксацию подшипника в конструкции. После литья проводится контроль геометрии и качества посадки. Завершающим этапом является запрессовка корпуса в металлическую обечайку с последующей вальцовкой краев.

Оценка эксплуатационных характеристик проводится в два этапа: лабораторные испытания и опытная эксплуатация. В лабораторных условиях проверяются параметры вибрации, биения и устойчивость к пылеабразивной среде при вибро- и ударных нагрузках. В условиях действующего производства исследуется поведение конструкции при заклинивании подшипника и ее общее влияние на надежность работы конвейерной линии. Полученные данные позволяют подтвердить заявленные технические характеристики и практическую применимость конструкции.

Конструктивные особенности композитного корпуса

Разработанная конструкция корпуса ролика направлена на повышение эксплуатационной надежности и безопасности транспортировочного оборудования. Основные конструктивные решения необходимы для исключения разрушения ленты, снижения вибрации, повышения точности сборки и защиты подшипникового узла от загрязнений. Рассмотрим основные аспекты.

Куполообразная внешняя часть корпуса *A* (см. рисунок, *a*) соединяется с металлической обечайкой не методом сварки, а посредством вальцовки. Один край ролика фиксируется в патроне и приводится во вращение, после чего противоположный край равномерно обрабатывается тремя вальцовочными головками. Такая технология обеспечивает симметричное закатывание края обечайки по наружному радиусу корпуса и его точное центрирование. Механическая фиксация без термического воздействия исключает образование сварного шва и, как следствие, риск его разрушения. В случае заклинивания подшипника разрушается сам корпус, а не соединение с трубой,

что предотвращает повреждение конвейерной ленты — одного из наиболее дорогостоящих элементов системы.

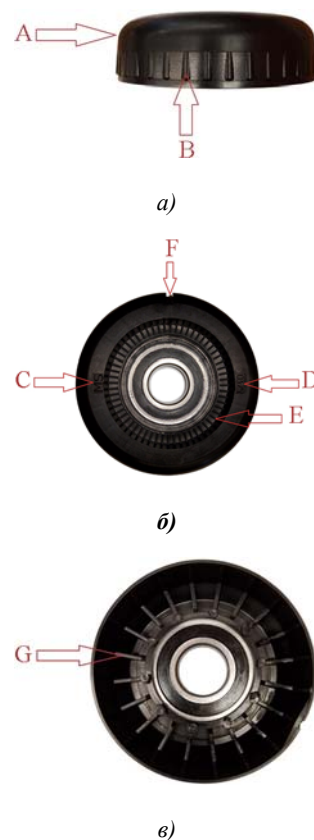


Рисунок. Внешний (*a*), фронтальный (*б*) и внутренний (*в*) виды композитного корпуса конвейерного ролика

Далее рассматриваем компенсацию отклонений стенки трубы *B* (см. рисунок, *a*). На наружной поверхности корпуса предусмотрены специальные кольцевые наплывы, предназначенные для компенсации отклонений толщины стенки трубы в пределах допусков, регламентированных ГОСТом (до $\pm 10\%$). В процессе запрессовки данные элементы частично срезаются или деформируются, что обеспечивает равномерное распределение усилия, устранение зазоров и стабильную посадку корпуса внутри металлической обечайки.

В конструкцию корпуса интегрированы элементы для заводской маркировки *C* и *D* (см. рисунок, *б*): указывается дата изготовления и производитель. Эти данные соответствуют требованиям нормативной документации и позволяют осуществлять производственный контроль, идентификацию смены и отслеживание качества по серийным номерам. Для заказчика это обеспечивает прозрачность поставок и гарантийное обслуживание, а для производителя — возможность оперативного анализа причин отказов.

На поверхности корпуса также предусмотрены ребра противопылевой защиты *E* (см. рисунок, *б*),

формирующие при вращении ролика воздушный поток, направленный от центра наружу. Этот эффект препятствует попаданию загрязненного воздуха и пылевых частиц внутрь подшипникового узла. Данный элемент не является герметичной защитой, однако существенно снижает риски ускоренного износа подшипников в агрессивной среде.

Для исключения проворачивания корпуса внутри трубы предусмотрен дополнительный конструктивный элемент или технологический паз позиционирования F на наружной стороне корпуса (см. рисунок, б). При сборке корпус позиционируется по сварному шву трубы, который фиксируется в этом пазу. Основную фиксацию обеспечивает обжатие в процессе вальцовки, однако наличие паза служит дополнительной гарантией позиционной стабильности.

В качестве основной силовой конструкции корпуса используются радиальные ребра жесткости G (см. рисунок, в). Они обеспечивают общую структурную устойчивость при постоянных нагрузках и выполняют демпфирующую функцию при кратковременных ударных воздействиях. За счет распределения механических напряжений по телу корпуса ребра предотвращают локальные разрушения и продлевают срок службы изделия.

Представленная конструкция совмещает элементы адаптивности, защиты и технологичности, обеспечивая высокие эксплуатационные показатели без увеличения массы и сложности сборки.

Оценка технологической и функциональной эффективности конструкции

Проведенные исследования подтверждают высокую геометрическую стабильность и технологичность корпуса из полиамида *PA6 GF30*. Литые элементы демонстрируют соответствие проектным параметрам по всем основным размерам. Радиальное биение в сборке находится в пределах 0,3 мм, что удовлетворяет требованиям к промышленным конвейерным роликам. При вальцовке корпуса внутрь металлической трубы отклонения по осевому смещению не превышают допустимых значений, благодаря использованию ориентира по сварному шву и применению регулируемого гидравлического пресса. Фиксация корпуса стабильна, проворот в обечайке исключается, так как в отличие от традиционного метода сварки, сопряжение корпуса с металлической обечайкой осуществляется методом вальцовки. Один край ролика зажимается в патрон и вращается, второй равномерно обжимается тремя вальцовочными головками, что обеспечивает точное центрирование и надежную механическую фиксацию корпуса

по наружному радиусу. Отсутствие сварного шва устраняет риск его разрушения при заклинивании подшипника, предотвращая отрыв корпуса и возможное повреждение ленты, что особенно важно с точки зрения затрат на ее замену.

В условиях вибрационных и ударных нагрузок, моделирующих эксплуатацию на действующих предприятиях, композитный корпус сохраняет целостность конструкции. Радиальные ребра жесткости, равномерно распределенные по окружности, обеспечивают эффективное гашение динамических воздействий и отсутствие локальных перегрузок. В ходе лабораторных испытаний, включающих цикл ударных и абразивных воздействий, не зафиксировано возникновения трещин, сколов или разрушения корпуса. Отливка демонстрирует равномерный износ в пределах 0,5 % массы за 100 ч работы, что подтверждает высокую стойкость *PA6 GF30* к истиранию. При этом стальной аналог уже после 72 ч имеет признаки коррозии и частичного повреждения сварного соединения.

Моделирование отказа подшипникового узла показывает, что при заклинивании не происходит передачи критической нагрузки на ленту. Разрушение корпуса носит локальный характер и не приводит к деформации металлической трубы и сохраняет целостность транспортного полотна. Это объясняется отсутствием сварки и возможностью пластической деформации полиамидного элемента в зоне сопряжения. Конструкция показала отказоустойчивость и минимальный риск вторичного повреждения оборудования. В условиях эксплуатации это позволяет избежать критических простоев и экстренного ремонта.

Следует отметить, что опытные образцы демонстрируют высокую ремонтпригодность. Замена ролика в условиях производственной линии осуществляется без применения специального инструмента и занимает менее трех мин. Для сравнения, демонтаж традиционного цельнометаллического ролика занимает от 12 до 20 мин и требует отключения линии. Использование модульного подхода с механическим сопряжением и отсутствием термической обработки позволило существенно упростить техническое обслуживание и сократить простой оборудования.

Выводы. 1. Разработанная конструкция композитного корпуса ролика на основе армированного полиамида *PA6 GF30* демонстрирует высокую эффективность как с технологической, так и с эксплуатационной точки зрения.

2. Использование радиальных ребер жесткости, противопылевых элементов и механической вальцовки позволяет повысить устойчивость корпуса к динамическим нагрузкам, обеспечить точную посад-

ку и снизить риски повреждения конвейерной ленты при отказе подшипников.

3. Проведенные испытания подтверждают геометрическую стабильность, износостойкость и отказоустойчивость изделия.

4. Полученные результаты указывают на перспективность применения данной конструкции в составе транспортных систем с повышенными требованиями к надежности, безопасности и обслуживаемости оборудования.

Список литературы

1. Шаяхметов Э. Я. Конструктивное и технологическое обеспечение качества роlikоопорленточных конвейеров, работающих в тяжелых условиях: дисс. ... д-ра философии. Алматы: Satbayev University. 2017. 195 с.

2. Коган Б. И., Лукашенко Т. А. Модульная технология сборки роликoв ленточных конвейеров // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2003. № 4. С. 78–79.

3. Nangare V. A., Sonawane P. R. Design, Analysis and Weight Optimization of Roller Conveyor System by using Glass Fiber Composite Material // International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET). 2022. Vol. 10. Iss. VII. Pp. 1681–1687.

4. Chebat F., Peron M., Viespoli L. M. et al. Fatigue Strength Assessment of Steel Rollers: On the Reliability of the Strain Energy Density Approach on Real Components // Applied Sciences. 2018. Vol. 8 (7). Art. 1015.

5. Охрименко Я. М. Технология кузнечно-штамповочного производства: уч. для вузов. М.: Машиностроение. 1976. 560 с.

6. Rosato D. *Plastics Engineered Product Design*. Amsterdam: Elsevier Science. 2003. 588 p.

7. Gupta K. *Advanced Manufacturing Technologies: Modern Machining, Advanced Joining, Sustainable Manufacturing (Materials Forming, Machining and Tribology)*. Cham: Springer. 2017.

8. *Future Market Insights. Global Composite Rollers Market Report 2023–2033*. Globenewswire. 2023.

9. Комаров К. Б. Когда наступит композитное будущее // Композиты без границ – 2017: межотраслевая конференция по вопросу применения.

10. ГОСТ 10704–91. Трубы стальные электросварные прямошовные. М.: Изд-во стандартов. 2007.

References

1. Shayakhmetov E. Ya. *Konstruktivnoe i tehnologicheskoe obespechenie kachestva rolikooporlentochnyh konvejerov, rabotajushhih v tjazhelyh uslovijah* [Constructive and technological quality assurance of roller conveyor belts operating in harsh conditions: doctor's thesis]. Almaty, Satbayev University, 2017.

2. Kogan B. I., Modular technology for assembling belt conveyor rollers. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2003, no. 4, pp. 78–79.

3. Nangare V. A., Sonawane P. R. Design, Analysis and Weight Optimization of Roller Conveyor System by using Glass Fiber Composite Material. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 2022, vol. 10, iss. VII, pp. 1681–1687.

4. Chebat F., Peron M., Viespoli L. M., Welo T., Berto F. Fatigue Strength Assessment of Steel Rollers: On the Reliability of the Strain Energy Density Approach on Real Components. *Applied Sciences*, 2018, vol. 8 (7), art. 1015.

5. Okhrimenko Ya. M. *Tehnologija kuznechno-shtampovochного производства* [Technology of forging and stamping production: textbook]. Moscow, Mashinostroenie, 1976.

6. Rosato D. *Plastics Engineered Product Design*. Amsterdam, Elsevier Science, 2003.

7. Gupta K. *Advanced Manufacturing Technologies: Modern Machining, Advanced Joining, Sustainable Manufacturing (Materials Forming, Machining and Tribology)*. Cham, Springer, 2017.

8. *Future Market Insights. Global Composite Rollers Market Report 2023–2033*. Globenewswire, 2023.

9. Komarov K. B. When the composite future comes. *Composites without borders – 2017: an intersectoral conference on the application*.

10. *Truby stal'nye elektrosvarnye prjamoshovnye* [Straight-seam electric-welded steel pipes]. State Standard no. 10704–91. Moscow, Publishing House of Standards, 2007.

ОБЗОР

УДК 811.581

Р. А. ПОЛОНЧУК, канд. политич. наук (Институт Китая и современной Азии РАН, г. Москва)

E-mail: polonchuk@iccaras.ru

R. A. Polonchuk (Institute of China and Contemporary Asia of the Russian Academy of Sciences, Moscow)**Производство углеволоконных материалов в КНР****Carbon fiber production in China**

Рассматривается политика руководства КНР в сфере производства углеволоконных материалов на современном этапе развития. Особое внимание в статье уделено рассмотрению становления производящих углеволокно предприятий, а также созданию материально-технической базы и стандартов производства материалов.

The article examines the policy of the PRC leadership in the field of carbon fiber materials production at the current stage of development. Particular attention is paid to the consideration of the formation of carbon fiber producing enterprises, as well as the creation of a material and technical base and standards for the production of materials.

Ключевые слова: Китай; углеволокно; производство; материал; двойные технологии; стандарт; промышленность.

Keywords: China; carbon fiber; production; material; dual technology; standard; industry.

В 1962 г. сформировано НИО углеволоконных материалов в составе Академии Наук КНР – попытки самостоятельной разработки технологии производства нитей и составов для изготовления продукции. В 1975 г. открыта национальная НИР по созданию полноценного производства углеволокна под обозначением «проект 7511». В рамках данной НИР задействовано около 20 научных организаций. Стоимость НИР составляет около 26 млн. юаней, однако китайскими специалистами не достигнут уровень японских разработчиков, которыми к середине 70-х гг. прошлого столетия уже налажен серийный выпуск углеволокна марки Т300.

80-е гг. прошлого столетия отмечены попытками установления сотрудничества с британскими и американскими компаниями. Следует отметить, что только двумя компаниями (из Пекина и пров. Цзи-линь) установлены контакты с английскими и американскими контрагентами. Приобретено две производственные линии, однако китайские специалисты не могут самостоятельно наладить их нормальную работу. После событий 1989 г. прекращение всех внешних контактов по данной тематике – в результате это приводит (по состоянию на 2005 г.) к полной зависимости ОПК КНР от поставок импортной продукции (основной поставщик – Япония). Объемы потребления углеволоконных материалов в КНР за последние 10 лет представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Объем потребления углеволокна в КНР
в период с 2008 по 2019 гг.**

Год	Объем потребления, т	Год	Объем потребления, т
2006	7500	2013	15 000
2007	7500	2014	15 000
2008	8000	2015	16 500
2009	8500	2016	19 500
2010	9000	2017	24 000
2011	9000	2018	26 000
2012	8000	2019	28 500

Поводом к возобновлению НИР по углеволокну в КНР становится доклад Института системного проектирования Академии Военных Наук КНР, посвященный вопросам применения боевой авиации ВС США и НАТО в рамках военной операции в Югославии. После представления данного доклада группа научных сотрудников Академии Наук КНР выступает с инициативным предложением о выполнении самостоятельной НИР без опоры на внешние технологии.

В 2001 г. Министерство науки и техники КНР возобновляет работу над углеволокном в рамках национальной НИР «проект 863» по пункту 403, согласно которому соответствующим НИО АН КНР выделено 100 млн. юаней. Согласно требованиям Государственного Совета КНР, один раз в квартал проводится

проверка работ и оценка результатов. К 2005 г. сформировано 10 компаний, осуществляющих работу по углеволоконной тематике. С этого момента работы по углеволоконной тематике под наблюдение берет Совет по оборонной промышленности КНР (в настоящее время Научно-техническое и промышленное управление национальной обороны КНР). До 2015 г. вопросы применения углеволоконных материалов в интересах Вооруженных Сил курируют офицеры НИО военного снабжения Главного управления тыла НОАК.

С 2006 г. работа по углеволоконной тематике внесена в пятилетний план экономического развития страны. В рамках 11-й, 12-й и 13-й пятилеток работы по углеволокну получают государственное финансирование. Необходимо отметить, что стоимость углеволокна на внутреннем рынке КНР контролируется органами власти государственного и провинциального уровня. Согласно постановлению правительства провинции Хэйлунцзян стоимость волокна марок T700 и T800 для авиастроительных предприятий должна составлять 30 % от мировой. Обстановка по углеволоконной тематике в КНР в период с 2006 по 2018 гг. сведена в табл. 2.

По данным источников, китайские компании-производители углеволокна пристально наблюдают за японскими и американскими достижениями в этой области. Достоверно известно, что в период с 2011 по 2014 гг. в США арестовано и осуждено восемь граждан КНР, которые предпринимали попытки приобрести и экспортировать углеволокну марок M60JB-3000-50B, T-800HB-12000-50B в объемах от одной до пяти тонн.

Американские и японские компании-производители углеволокна военного назначения находятся под наблюдением Таможенной службы США и Федерального Бюро Расследований США, которые осу-

ществляют прослушивание телефонных разговоров и перехват любых сообщений по электронным каналам связи. Кроме того, в США, Японии и на Тайване ведется мониторинг любых телефонных переговоров, в которых на английском, китайском или японском языках фигурируют слова «волокно», «уголь», «композит», «связующее». Достоверно известно, что при копировании иностранной продукции китайские специалисты придерживаются параметров, которые опубликованы в открытых источниках (см. табл. 3).

Таблица 2

Изменения в углеволоконной тематике в КНР

Год	Ситуация
2008	Китайские компании не обладают современным оборудованием для производства углеволокна. Продукция национальных компаний не соответствует требованиям авиакосмического и военного секторов промышленности
2009	Выработана первая партия углеволокна марки T-300, хотя опытные образцы данного материала были получены еще в 2005 г.
2010	Промышленное производство углеволокна находится на крайне низком уровне
2013	Разработано волокно марок T700 и M40J
2014	Разработано волокно марки T-800 (в ОПК КНР присвоено обозначение HT-280) Применяется в конструкции малозаметного истребителя 4-ого поколения Цзянь-20 (15 %) и нового многоцелевого вертолета Чжи-20 (20 %).
2015	Получено волокно марки T-1000. До настоящего времени объем промышленного производства крайне ограничен. Сохраняется зависимость от поставок импортного волокна японского и американского производства через посредников в Германии, Италии, Республике Корея и на Тайване
2016	Разработано волокно марки M55J. Начаты НИР по волокну марок M60J и M70J
2018	Разработано волокно марки T1100. Начата НИР по волокну марки T1200

Таблица 3

Общие параметры углеволоконных материалов марок «Т» и «МЈ»

Марка углеволокна	Предел прочности на растяжение, МПа	Модуль упругости, ГПа	Удлинение на разрыв, %	Плотность, г/см ³
T300/T300B	3530	230	1,5	1,76
T400HB	4410	450	1,8	1,8
T700SC	4900	230	2,1	1,8
T800SC	5880	294	2	1,8
T800HB	5490	294	1,9	1,81
T1000GB	6370	294	2,2	1,8
M35JB	4510	343	1,3	1,75
M40JB	4400	377	1,2	1,77
M45JB	4020	436	0,9	1,84
M50JB	4120	420	0,9	1,88
M55J/M55JB	4020	540	0,8	1,91

В настоящее время на территории КНР действуют стандарты на углеволоконные материалы, представленные в табл. 4. Основное отличие состоит в повышении требований по таким параметрам как «предел прочности на растяжение» (на 150 МПа), «модуль упругости» (на 10–12 ГПа) и удлинение на разрыв (на 0,1 %).

Таблица 4

Национальные стандарты КНР на углеволоконные материалы

Основное требование	Стандарт	Описание
Высокая прочность	<i>GQ3522 (T300)</i>	Данный стандарт действителен последние 10 лет. Является основным на территории КНР.
	<i>GQ4522 (T700)</i>	Данный стандарт сформулирован в рамках «Национального проекта по разработке оборудования для производства углеволокна военного и гражданского назначения». С декабря 2016 г. применяется для мелкосерийного производства углеволокна высокой прочности. В перспективе показатели стандарта будут повышены. В 2016 г. волокно сертифицировано для космической техники.
Высокая прочность и средняя упругость	<i>QZ4526</i>	Требования стандартов совпадают с международными по большинству параметров по углеволокну серии «Т», однако по таким показателям как «предел прочности на растяжение», «модуль упругости», «удлинение на разрыв» значения определены несколько выше. В частности, согласно стандарта <i>QZ5526</i> осуществляется выпуск <i>T800</i> .
	<i>QZ5026</i>	
	<i>QZ5526 (T800)</i>	
	<i>QZ6026 (T1000)</i>	
Средняя упругость	<i>GM3030</i>	Изъят из промышленной документации
Высокая прочность и высокая упругость	<i>QM4035 (M40J)</i>	Требования стандартов совпадают с международными по большинству параметров по углеволокну серии «MJ». В настоящее время производство данного волокна ведется в опытных масштабах. Возможны корректировки параметров стандарта. В частности <i>QM4035</i> соответствует материалу <i>M40J</i>
	<i>QM4040 (M45J)</i>	
	<i>QM4045 (M55J)</i>	

По данным китайских источников, разработку углеволоконных нитей серий *T300*, *T700*, *T800* (присвоено обозначение *ZT8*), *T1000/1100* (присвоено обозначение *ZT9*), а также *M40J* и *M55J* выполняют научные сотрудники Национального технико-научного центра технологии углеволокна Института химии материаловедения и проектирования Пекинского нефтехимического университета в сотрудничестве

с коллегами из отдела углеволоконных материалов НИО материаловедения Академии Наук КНР (г. Нинбо) НИО угольной химии Академии Наук КНР (пров. Шаньси), НИО прикладной химии АН КНР (г. Чанчунь), НИО химии АН КНР (г. Пекин) и Шаньдунского университета. По мере повышения сложности разработки материалов серий *T* и *MJ* в КНР формируют новые научно-исследовательские организации. Так в течение последних 5 лет в провинции Шаньдун сформирован Научный центр технологий проектирования углеволоконных материалов, а в Институте материаловедения Шаньдунского университета функционирует НИО высокомолекулярных материалов. В г. Шанхай открыт НИИ разработки углеволоконных композитных материалов. Анализ информации позволяет сравнить данные о заявленных объемах производства в КНР, информацию о реальных объемах качественной продукции в сравнении с импортом. Данные представлены в табл. 5.

Таблица 5

Объемы производства и импорта углеволокна в КНР

Год	Заявленный объем производства, т	Объем производства качественной продукции, т	Объем импорта, т
2006	500	—	4000
2007	2500	200	4500
2008	4700	460	5000
2009	7500	1000	6000
2010	7500	1200	7000
2011	10 000	1500	8000
2012	11 000	1800	7000
2013	14 000	2500	14 000
2014	15 000	3000	13 000
2015	16 500	3600	14 500
2016	18 000	4000	16 000
2017	26 000	4700	16 000
2018	27 000	5500	16 500
2019	28 000	6500	17 000

В настоящее время китайские компании приобретают углеволокно в следующих странах: Япония (31 %), Тайвань (16 %), США (9 %), Республике Корея (8 %), Турции (5 %), Франции, Германии. Углеволокна серии *T700* и *T800* применяются в производстве:

- истребителей «Цзянь-10А» (6 % от конструкции), «Цзянь-10С» (10 %), «Цзянь-11Б и БС» (10 %), «Цзянь-20» (20 %) и «Цзянь-31» (20 %);
- тяжелых транспортных самолетов «Юнь-20» (до 20 %);
- транспортных вертолетов «Чжи-20» (до 20 %) и ударных вертолетов «Учжи-10, 19» (не более 15 %).

Таблица 6

Общие данные об объемах выпуска углеволоконных материалов ведущими компаниями КНР

Наименование компании	Общая производительность в год (тонн)
<i>Zhongfu Shenying Carbon Fiber Co., Ltd</i>	6000 (T700 – 5000 т; T-800 – 1000 т)
<i>Jiangsu Hengshen Co., Ltd.</i>	5000
<i>Jingmi Corporation</i>	3500
<i>Weihai Guangwei Co., Ltd.</i>	3100
<i>Zhonganxin Technology Co., Ltd.</i>	1800
<i>Lanzhou Blue Star Fiber Co., Ltd.</i>	1800
<i>Taiyuan Iron and Steel Group Co., Ltd.</i>	1200
<i>Jiangsu Hangke Composite Material Technology Co., Ltd.</i>	1100 (T-800S – 1000 т; M55J – 50 т; T-1000 – 50 т)
<i>Jilin Fangda Jiangcheng Carbon Fiber Co., Ltd.</i>	550
<i>Sinopec Shanghai Petrochemical Co., Ltd.</i>	500
<i>Anhui Shouwen Carbon Fiber Co., Ltd.</i>	500
<i>Henan Yongmei Carbon Fiber Co., Ltd.</i>	500
<i>Zhongjian Technology Development Co., Ltd.</i>	360
<i>Zhejiang Taixian New Materials Co., Ltd.</i>	250

Углеволокно марки CCF-700S 12K (пр-во компании «Weihai Guangwei Co., Ltd.») применяется при изготовлении корпуса межконтинентальной баллистической ракеты «Восточный ветер 41» и баллистической ракеты для подводных лодок «Цзюйлан-2». Изготовление ракет выполняется на заводе 8603 (место расположения засекречено) В данном вопросе компания сотрудничает с 9 отделом ракетной техники и 4 НИИ Китайской аэрокосмической научно-промышленной корпорации

Кроме того, волокна марок T-700 и T-800 применяются в изготовлении корпусов ракет-носителей «Великий поход-5,7 и 11», противоспутниковых ракет моделей «DN-2» и «DN-3», а также противоракет SC-19 системы ПРО «HQ-19».

Углеволокно серии M55J используется при изготовлении искусственных спутников земли и обитаемых пилотируемых космических аппаратов (в частности в корпусе модуля «Тяньгун-2»).

Представляется возможным проанализировать список ведущих компаний в КНР, осуществляющих как промышленный выпуск углеволокна марок T и MJ, так и выполняющих разработку оборудования и НИР по новым материалам (графен). Из 16 компаний, осуществляющих производство первоначальной нити, 13 компаний используют диметилсульфоксидную технологию, 2 компании применяют тиоцианат натрия и 1 компания работает с диметилацетамидом. Указанные компании расположены максимально близко к районам добычи сырья для углеволоконного производства. Проведенный анализ показывает, что ведущие предприятия-производители углеволоконных материалов сосредоточены в следующих регионах:

- северо-восточные провинции (Цзилинь – 4 компании, Ляонин – 2);
- восточные провинции (Шаньдун – 2, Цзянсу – 4, Чжэцзян – 2 и город центрального подчинения Шанхай – 1);
- южные провинции (Гуандун – 1);
- центральные провинции (Хэбэй – 2, Хэнань, Ганьсу, Шаньси, Аньхой – по 1).

Из указанных выше 23 компаний подавляющее большинство составляют частные коммерческие предприятия, которые приобретают основные разработки у государственных научно-исследовательских организаций и в дальнейшем самостоятельно развивают технологические процессы.

В качестве примера такой успешной деятельности необходимо привести компанию *Zhongfu Shenying Carbon Fiber Co.Ltd*, специалистами которой разработано 20 стандартов для производственного оборудования, 40 стандартов на продукцию и 68 тестов. Известно, что эта компания активно сотрудничает с китайскими авиастроительными предприятиями гражданского сектора с расчет расширения области применения углеволоконных материалов в коммерческих самолетах, а именно ARJ-21, C919 и CR929.

В настоящее время к конструкции ARJ-21 применяется только 8 % углеволокна, для узкофюзеляжного среднемагистрального пассажирского C919 возможно изготовление хвостового оперения и некоторых вторичных элементов (составит 12 % от конструкции) из углеволокна, а в перспективном широкофюзеляжном дальнемагистральном пассажирском лайнере CR929 (российско-китайская разработка) возможно увеличение доли углеволоконных материалов до 52 %. Ограничение на применение угле-

волоконных материалов в корпусах и деталях самолетов китайского производства обусловлено тем, что на территории КНР находится всего два автоклава (в распоряжении «СОМАС» длина 21 м, диаметр 5,5 м, расположен в Шанхае; в распоряжении AVIC длина 30 м и диаметр 7 м, расположен в Пекине), которые загружены оборонными заказами.

Компания *Jiangsu Hangke Composite Material Technology Co., Ltd.* планирует нарастить объемы производства углеволокна марок *T-800* и *T-1000* в г. Ляньюньган до 10 000 т ежегодно к 2022 г.

В отношении компании *Zhongjian Technology Development Co., Ltd.* известно, что она ориентирована на поставки углеволокнистых материалов для оборонного сектора авиакосмической отрасли

К настоящему моменту в КНР функционирует около 100 малых и средних компаний, которые приобретают у вышеперечисленных исходную нить и другие продукты для производства конкретных изделий в интересах национальных и иностранных заказчиков (см. табл. 6).

Таким образом, первые семь компаний обеспечивают 85 % потребностей китайского рынка. По данным китайских источников, национальные предприятия-производители углеволокнистых материалов способны ежегодно выпускать от 55 000 до 70 000 т продукции. Представляется возможным утверждать, что в обозримой перспективе производство углеволокна в КНР продолжится, что позволит усилить позиции этой страны на мировом рынке материалов.

УДК

М. И. ПРЫГУНОВА, канд. экономич. наук; **И. К. ТУМАКОВ**, аспирант (ОСП «Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан», г. Казань)

E-mail: Mariya.Prigunova@tatar.ru

M. I. Prigunova, I. K. Tumakov (Center of Advanced Economic Research in the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan)

Опыт регионов в создании экосистемы технологического предпринимательства

Regional experience in creating a technological entrepreneurship ecosystem

Исследуется взаимосвязь между динамикой развития студенческих стартапов и процессами формирования региональных экосистем технологического предпринимательства в России. На основе анализа ключевых показателей активности студенческого предпринимательства рассматривается их роль как катализатора создания устойчивых инновационных систем на региональном уровне. Особое внимание уделяется институциональным факторам, способствующим интеграции студенческих инициатив в структуру региональных экосистем.

This article examines the relationship between the dynamics of student startup development and the formation of regional technological entrepreneurship ecosystems in Russia. Based on an analysis of key indicators of student entrepreneurship activity, its role as a catalyst for the creation of sustainable innovation systems at the regional level is examined. Particular attention is paid to institutional factors facilitating the integration of student initiatives into regional ecosystems.

Ключевые слова: студенческие стартапы; технологическое предпринимательство; региональные инновационные экосистемы; университетская среда; коммерциализация технологий.

Keywords: student startups; technological entrepreneurship; regional innovation ecosystems; university environment; technology commercialization.

Работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан» (Соглашение от 16.12.2024 № 105/2024-ПД).

В условиях стремительной трансформации мировой экономики и усиления глобальной конкуренции технологическое предпринимательство выступает ключевым фактором устойчивого экономического роста и инновационного развития регионов. Появление и успешное функционирование стартапов, ориентированных на разработку и коммерциализацию передовых технологий, способствует не только повышению конкурентоспособности отдельных территорий, но и формированию новых отраслей, созданию высококвалифицированных рабочих мест и диверсификации региональных экономик. По мере углубления процессов цифровизации и перехода к экономике знаний именно технологические компании становятся драйверами структурных сдвигов, способствуя модернизации традиционных секторов и развитию новых рынков.

Однако, несмотря на очевидную значимость технологического предпринимательства, уровень его развития в различных регионах России остается крайне неравномерным. Крупные агломерации и научно-образовательные центры, такие как Москва, Санкт-Петербург, Казань или Новосибирск, демонстрируют наличие сформировавшихся инновационных экосистем, где присутствует развитая инфраструктура поддержки (технопарки, акселераторы, центры трансфера технологий), активное участие университетов, наличие венчурного капитала и взаимодействие с крупными корпорациями. В то же время значительная часть регионов остается на периферии инновационного развития, сталкиваясь с дефицитом финансовых ресурсов, кадров, и недостаточной институциональной поддержкой предпринимателей.

Проблематика формирования эффективных экосистем технологического предпринимательства обретает особую актуальность в свете реализации национальных стратегий и программ, направленных на ускорение научно-технологического развития России. В частности, в рамках федеральных инициатив («Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации», национальный проект «Наука и университеты», федеральный проект «Платформа университетского технологического предпринимательства») ставится задача создания условий для появления не менее 1000 технологических стартапов ежегодно, повышения объемов частных и государственных инвестиций в инновации и формирования конкурентоспособной среды для бизнеса. В этой связи анализ успешного опыта отдельных регионов и выявление ключевых факторов, способствующих формированию устойчивых экосистем, приобретает не только теоретическую, но и прикладную значимость.

Теоретические основы исследования экосистем технологического предпринимательства

Современная научная литература активно использует концепцию «экосистемы» применительно к предпринимательству и инновациям, рассматривая ее как сложную, многоуровневую систему взаимосвязанных акторов и институтов, обеспечивающих условия для зарождения и развития новых компаний, прежде всего ориентированных на создание и внедрение высокотехнологичных продуктов и услуг. Под экосистемой технологического предпринимательства, как правило, понимается совокупность взаимосвязанных участников (стартапов, инвесторов, университетов, исследовательских центров, государственных институтов поддержки, корпораций, инфраструктурных объектов: технопарков, бизнес-инкубаторов, акселераторов) и условий (регуляторных, финансовых, культурных), которые в совокупности формируют благоприятную среду для появления и роста технологических компаний.

Ключевая особенность экосистемного подхода заключается в признании взаимозависимости всех элементов и сетевой природы их взаимодействия. Успешная экосистема формируется не просто за счет наличия отдельных институтов поддержки, но благодаря их синергии, когда университеты не только готовят кадры, но и становятся центрами трансфера технологий, венчурные инвесторы активно вовлекаются в акселерационные программы, а государственные органы гибко адаптируют регуляторную среду, стимулируя инновационную активность.

Региональная экосистема студенческого технологического предпринимательства – это образовательная, предпринимательская, инновационно-технологическая экосистема, локализованная в рамках одного региона, акторы которой во взаимодействии создают ценности: технологических предпринимателей, стартапы, технологические инновации.

С учетом особенностей студента как технологического предпринимателя, факторов его успешности и результатов опроса учащихся сформирована модель РЭСТП.

В научных публикациях выделяют несколько обязательных элементов экосистемы технологического предпринимательства:

1. Людской капитал и предпринимательская культура – наличие квалифицированных специалистов, научных кадров, а также развитая культура восприятия риска и готовности к инновациям.
2. Финансовая инфраструктура – доступ к венчурному капиталу, бизнес-ангелам, государственным грантам и субсидиям.

3. Инновационная инфраструктура – технопарки, инкубаторы, коворкинги, акселераторы, центры коллективного пользования оборудованием.

4. Участие университетов и НИИ – интеграция научных исследований и образовательных программ с предпринимательской активностью, создание стартап-студий и *spin-off* компаний.

5. Государственная поддержка и регуляторная среда – программы субсидирования, налоговые льготы, создание особых экономических зон.

6. Корпоративный сектор – участие крупных компаний в качестве заказчиков, инвесторов или партнеров стартапов.

7. Социальный капитал и сетевое взаимодействие – наличие сообществ предпринимателей, отраслевых ассоциаций, регулярных событий (форумы, хакатоны, выставки).

Эффективность экосистемы определяется не только наличием этих компонентов, но и степенью их взаимосвязанности, скоростью обмена знаниями, доступностью ресурсов и способностью адаптироваться к изменениям внешней среды. В отличие от традиционной промышленной инфраструктуры, экосистема технологического предпринимательства обладает высокой динамичностью и подвержена значительному влиянию факторов, связанных с глобальными рынками и научно-техническим прогрессом.

Мировые модели формирования экосистем технологического предпринимательства

Для понимания закономерностей развития подобных экосистем важно обратиться к международному опыту, где за последние десятилетия формируются разнообразные модели поддержки технологического бизнеса. Наиболее известные примеры – Силиконовая долина (США), регион Большого Торонто (Канада), Тель-Авив (Израиль), Бангалор (Индия), Шэньчжэнь (Китай). Анализ их развития позволяет выделить несколько устойчивых закономерностей:

1. Ключевая роль университетов и научных центров. Практически во всех успешных экосистемах университеты не ограничиваются образовательной функцией, а активно участвуют в коммерциализации технологий. Например, Стэнфордский университет является ядром Силиконовой долины, создав собственные фонды и стартап-инкубаторы, а Израильские университеты (Технион, Еврейский университет) – источниками значительной части патентов, на базе которых возникают стартапы.

2. Развитый рынок венчурного капитала. В странах с устойчивыми экосистемами технологического предпринимательства инвесторы играют ключевую роль, обеспечивая не только финансирование, но и

менторскую поддержку. Израиль и США демонстрируют развитую сеть частных фондов и бизнес-ангелов, в Китае значительную роль играют государственные и квазигосударственные инвестиционные структуры.

3. Государственная поддержка как катализатор. Хотя долгосрочный успех экосистем определяется в основном рыночными механизмами, на ранних этапах формирование инфраструктуры и стимулирование предпринимательства часто обеспечивается государством. В Израиле государственная программа *Yozma* (1993 г.) становится толчком к развитию венчурного рынка, в Китае государственные субсидии и налоговые льготы позволяют ускорить рост технологических парков.

4. Сильная корпоративная вовлеченность. В Шэньчжэне и Бангалоре крупные технологические корпорации (*Huawei, Tencent, Infosys, Wipro*) выступают не только работодателями, но и заказчиками инноваций, инвесторами и партнерами для стартапов.

5. Культурные и социальные факторы. Культура готовности к риску, толерантность к неудачам и открытость к глобальным рынкам формируют особую предпринимательскую среду, которую невозможно создать исключительно административными мерами.

Эти закономерности важны для анализа российских регионов, поскольку они показывают, что успешная экосистема формируется на стыке рыночных стимулов, академической активности, институциональной поддержки и культурных факторов.

Российская специфика формирования экосистем технологического предпринимательства

В российских условиях экосистемы технологического предпринимательства развиваются в условиях более высокой зависимости от государственной поддержки, слабой венчурной инфраструктуры и ограниченного частного спроса на инновации. При этом в ряде регионов сложились уникальные организационные модели, сочетающие усилия академических институтов, органов власти и промышленного сектора.

С конца 2000-х гг. в России реализуются государственные программы, нацеленные на стимулирование инновационной активности, включая создание технопарков, бизнес-инкубаторов, кластеров и особых экономических зон (ОЭЗ). Основными драйверами развития региональных экосистем стали:

- программы Минэкономразвития РФ по поддержке инфраструктуры инновационной деятельности;
- проект «Национальная технологическая инициатива» (НТИ);

- программа «Платформа университетского технологического предпринимательства»;
- региональные стратегии развития инноваций.

Однако, несмотря на обилие инфраструктурных решений, эффект от реализации этих программ существенно варьируется по регионам. Это связано как с различиями в стартовых социально-экономических условиях, так и с уровнем зрелости местных институтов, вовлеченных в экосистемное взаимодействие.

Особенностью российских экосистем является: доминирование роли государства как инициатора и финансирующего центра, высокая концентрация стартапов в ограниченном числе научно-образовательных центров, слабая интеграция университетов и промышленности (исключая отдельные успешные кейсы), ограниченный выход на международные рынки.

Тем не менее в некоторых субъектах РФ удается сформировать устойчивые модели взаимодействия между ключевыми участниками экосистемы, что позволяет классифицировать типы региональных моделей.

Республика Татарстан является одним из наиболее успешных регионов России в части формирования устойчивой экосистемы технологического предпринимательства. С 2010-х гг. в регионе действует комплексная стратегия, направленная на развитие инновационной инфраструктуры. Среди ключевых компонентов:

1. Центром ответственности за развитие университетского технологического предпринимательства уже несколько лет выступает Академия наук Республики Татарстан, которая регулирует системное формирование общей концепции, стандартов и механизмов внутреннего взаимодействия. В качестве первоочередной задачи выбрана реализация ключевого направления деятельности или создания эффективной модели интеграции новых технологических решений и предприятий через триаду «вуз – органы власти – бизнес» [1].

2. В условиях современных вызовов, связанных с ускоренным импортозамещением, импортоопережением, обеспечением технологического суверенитета и суверенитета данных, Академия наук расширяет данную модель, вовлекая новых участников на всех этапах жизненного цикла проекта. Это позволяет обеспечить согласованное и устойчивое развитие научно-технологической и производственной сфер.

3. Важнейшим элементом формирующейся в Республике Татарстан экосистемы технологического предпринимательства выступает комплекс мер по поддержке изобретательской деятельности, реализуемый в рамках обновленной Программы научно-

технологического развития Республики Татарстан. Данная инициатива предусматривает ежегодное финансирование в объеме 10 млн руб., направленное на стимулирование инновационной активности и коммерциализацию научных разработок [2].

4. Также в экосистему технологического предпринимательства Республики Татарстан входят профильные региональные министерства и ведомства, Институты развития, представители крупного бизнеса (см. табл. 1). Примерами Института развития выступают Иннополис – первый в России наукоград, ориентированный на ИТ и робототехнику; Фонд содействия инновациям РТ, Агентство инвестиционного развития.

Таблица 1

Экосистема технологического предпринимательства
Республики Татарстан

Элемент	Примеры
Университеты	ВУЗы участники Приоритет 2030 и ПИИФ федерального уровня
Научно-технологические парки	Иннополис, Химград, Идея
Объемы инвестиций в стартапы	Более 2.5 млрд руб. в год
Государственная поддержка	Гранты на НИОКР, субсидии, налоговые льготы
Число стартапов с 2020 по 2023 гг.	Рост на 78 %

Особенность Республики Татарстан заключается в активной интеграции промышленных кластеров (КАМАЗ, «Татнефть», «Нижнекамскнефтехим») с инновационными проектами. Крупные компании выступают не только заказчиками НИОКР, но и инвесторами в стартапы.

Новосибирский научный центр (Академгородок), вокруг которого сформирована экосистема научного предпринимательства, является уникальным примером интеграции академической науки и бизнес-среды. На базе НГУ, СО РАН, Технопарка новосибирского Академгородка активно развиваются высокотехнологичные стартапы в области биотехнологий, медицины, ИИ и материаловедения [3].

Формирование экосистемы происходит с опорой на уже существующую научную базу и активное вовлечение аспирантов и молодых ученых в предпринимательскую деятельность (см. табл. 2).

Москва обладает крупнейшей в России концентрацией всех ключевых элементов экосистемы – от венчурных фондов и акселераторов до исследовательских институтов и технопарков. Столица также является основным потребителем высокотехнологичных решений и центром привлечения талантов из других регионов (см. табл. 3). С 2018 г. в Москве

действует комплексная программа «Московский инновационный кластер» [4], объединяющая бизнес, науку и городские органы управления.

Таблица 2

**Экосистема технологического предпринимательства
Новосибирской области**

Элемент	Примеры
Академическая база	НГУ, СО РАН
Стартап студии	Более 50 на базе НГУ и Академгородка
Венчурные фонды	<i>Siberian Ventures, Sofiline Ventures</i>
Основные направления	Биотех, фармацевтика, ИИ, инженерные системы

Таблица 3

**Экосистема технологического предпринимательства
Москвы**

Элемент	Примеры
Акселераторы и инкубаторы	Сколково, ФРИИ, МГУ Стартап Хаб
Число зарегистрированных стартапов	Более 15 000
Объем частных инвестиций	Более 55 млрд руб
Университеты	МГУ, МФТИ, ВШЭ, Бауманка
Программы поддержки	Московский инновационный кластер, пилотные зоны

Развитие экосистем технологического предпринимательства в российских регионах демонстрирует значительные различия, что обусловлено сочетанием социально-экономических, институциональных и культурных факторов. В отличие от многих зарубежных моделей, где драйверами роста выступают частные инвестиции и рыночные стимулы, российские экосистемы в значительной степени опираются на государственные механизмы поддержки, которые обеспечивают формирование базовой инфраструктуры, стимулируют создание стартапов и финансируют ранние стадии проектов. Такой подход позволяет компенсировать дефицит частного капитала, однако одновременно создает определенную зависимость от бюджетных источников и снижает устойчивость системы в условиях внешних экономических шоков.

Сравнительный анализ трех региональных моделей – агломерационной (г. Москва), индустриально-государственной (Татарстан) и университетско-ориентированной (Новосибирская область) – показывает, что каждая из них опирается на собственные уникальные источники роста. Московская модель демонстрирует наибольшую концентрацию финансовых ресурсов, развитый венчурный рынок и высокую степень глобальной интеграции, что позволяет

стартапам быстрее масштабироваться и привлекать зарубежные инвестиции. Татарстан, благодаря интеграции инновационной инфраструктуры с промышленными кластерами и активному участию органов власти, создает благоприятные условия для технологического бизнеса, ориентированного на корпоративных заказчиков. Новосибирская экосистема, основанная на мощной научной базе, обеспечивает генерацию высокотехнологичных разработок и формирование уникальных компетенций, но испытывает недостаток частных инвестиций и корпоративного спроса, что ограничивает коммерциализацию научных результатов.

Практические результаты (анализ статистики)

Сравнение опыта Москвы, Новосибирской области и Республики Татарстан в развитии экосистем технологического предпринимательства демонстрирует, что регионы развивают различные модели инновационной поддержки, соответствующие их экономическим и научным ресурсам.

НИУ ВШЭ представлен 10-й выпуск рейтинга инновационного развития субъектов РФ (см. рисунок). Москва сохраняет безусловное лидерство благодаря высокому образовательному потенциалу, развитой цифровой инфраструктуре и значительным затратам на инновации. При этом в 2025 г. разрыв по этому показателю между Москвой и Татарстаном увеличивается, что отражает растущую концентрацию инвестиционных ресурсов в столичном регионе и необходимость для других субъектов усиливать меры по привлечению инвестиций в НИОКР [5].

Республика Татарстан, занимающая второе место в рейтинге инновационного развития, показывает значительное улучшение по индексам научно-технического потенциала и экспортной активности, а также выходит в лидеры по индексу инновационной деятельности, что указывает на успешную интеграцию науки и бизнеса. Новосибирская область, несмотря на меньший объем инвестиций, формирует сильную экосистему за счет опоры на научно-исследовательскую базу и гибкие формы взаимодействия с технологическим бизнесом.

Таким образом, динамика 2024–2025 гг. подчеркивает, что финансовая составляющая остается ключевым фактором лидерства в инновационной сфере, однако устойчивый успех возможен лишь при сочетании инвестиций с развитием человеческого капитала, научной базы и эффективных инструментов стимулирования предпринимательства. Опыт трех регионов отражает разные стратегии достижения этих целей, что может быть полезным для тиражирования на другие территории России.

№	Регион	Баллы
1	2	3
1	Москва	0,476
2	Нижегородская область	0,428
3	Пермский край	0,427
4	Ханты-Мансийский АО – Югра	0,423
5	Московская область	0,400
6	Республика Бурятия	0,383
7	Иркутская область	0,346
8	Чеченская республика	0,342
9	Костромская область	0,314
10	Хабаровский край	0,313
11	Республика Татарстан	0,299

а)

№	Регион	Баллы
1	2	3
1	Москва	0,869
2	Нижегородская область	0,587
3	Ярославская область	0,510
4	Московская область	0,508
5	Томская область	0,488
6	Ханты-Мансийский АО – Югра	0,468
7	Республика Крым	0,466
8	Республика Татарстан	0,450

б)

Рисунок. Затраты на инновации в 2024 (а) и 2025 гг. (б)

Эти различия указывают на то, что универсальной модели, пригодной для прямого тиражирования во всех регионах страны, в настоящее время не существует. Вместо этого практический эффект может быть достигнут за счет адаптации лучших элементов каждой из моделей: стимулирования частных инвестиций и глобальной интеграции по примеру Москвы, активного взаимодействия с промышленными кластерами, как в Татарстане, и вовлечения университетов в предпринимательскую деятельность, что характерно для Новосибирска. Комбинация этих подходов способна обеспечить формирование гибридных экосистем, устойчивых к колебаниям внешней среды и способных привлекать ресурсы из различных источников.

Стартапы как элемент экосистемы технологического предпринимательства

Студенческие стартапы занимают особое место в формировании и развитии экосистем технологического предпринимательства. Их влияние не ограничивается созданием новых бизнесов – они становятся важным элементом, который стимулирует развитие инновационной среды, задает динамику роста для образовательных учреждений, венчурных фондов,

акселераторов и государственных программ. Именно стартапы, инициированные студентами, зачастую выступают первыми экспериментальными площадками для отработки новых технологий, бизнес-моделей и управленческих подходов, которые впоследствии масштабируются в более крупные проекты.

Однако взаимосвязь между стартапами и экосистемами носит двусторонний характер. С одной стороны, активность студентов и их готовность пробовать себя в предпринимательстве создают спрос на инфраструктуру поддержки: появляются специализированные акселерационные программы, коворкинги, региональные фонды и грантовые инициативы. С другой – развитая экосистема, обеспечивающая доступ к финансированию, менторской поддержке и образовательным ресурсам, существенно повышает шансы на успех даже для тех проектов, которые находятся на ранней стадии. В результате формируется циклический эффект: чем больше возможностей создается для молодых предпринимателей, тем выше число подаваемых заявок и, как следствие, поддержанных проектов.

Эта взаимосвязь наглядно проявляется в результатах пятой очереди программы поддержки студенческих стартапов, в рамках которой было одобрено около 2000 заявок [6]. Географическое распределение поддержанных проектов демонстрирует концентрацию активности в ряде регионов с развитой экосистемой. На долю Москвы приходится 17,8 % всех поддержанных заявок, что объясняется высоким уровнем концентрации университетов, научных центров, инвесторов и акселераторов в столичном регионе. Татарстан, где активно развиваются технопарки, бизнес-инкубаторы и программы региональной поддержки, занимает 14,7 %. Новосибирская область, обладающая сильной научной базой и растущей инновационной инфраструктурой, получает 3,3 % от общего числа одобренных проектов.

Важно учитывать, что количество поддержанных заявок косвенно указывает на объем поданных: чем выше число одобренных проектов, тем вероятнее, что сам конкурс привлек значительное количество участников. Это, в свою очередь, свидетельствует о том, что в регионах с сильными экосистемами действуют комплексные меры, которые стимулируют молодежь к предпринимательской активности: грантовые и кредитные программы, обучение по предпринимательским дисциплинам, доступ к менторской поддержке и нетворкингу.

За 2022–2024 гг. федеральный проект Платформа университетского технологического предпринимательства охватил 78 российских регионов, в рамках него открыты 21 университетские стартап-студии. По грантовой программе «Студенческий стартап»

2500 проектов получили по 1 млн руб. Для частных инвесторов действует программа возмещения части инвестиций, по ней государство возвращает до 50 % средств, вложенных в университетский стартап [7].

Университетские стартап-студии (УСС) – это формат развития технологического предпринимательства, известный как «фабрика стартапов». Создаваемые на базе российских вузов студии ориентированы на оперативную проверку бизнес-идей и массовое создание новых компаний. На сегодняшний день в рамках ПУТП действует сеть из 22 университетских стартап-студий, которые формируют портфели компаний по технологическим доменам.

Таким образом, студенческие стартапы и экосистемы технологического предпринимательства развиваются во взаимозависимости. Стартапы вносят свежие идеи и создают импульс для развития поддержки, а экосистема предоставляет необходимые ресурсы, снижает барьеры входа и увеличивает вероятность успеха новых инициатив. Этот синергетический эффект не только способствует росту числа стартапов, но и ускоряет развитие регионов как центров инноваций, формируя основу для долгосрочного экономического роста и технологического лидерства.

Выводы. 1. Важным остается и вопрос интеграции региональных экосистем в глобальные цепочки создания стоимости. За исключением Москвы, большинство российских регионов пока слабо вовлечены в международные рынки, что ограничивает потенциал масштабирования их стартапов. Решение этой задачи требует не только финансовых и инфраструктурных мер, но и формирования культурной среды, способствующей готовности предпринимателей работать с глобальными инвесторами, партнерами и заказчиками.

2. Таким образом, дальнейшее развитие экосистем технологического предпринимательства в России должно опираться на комплексное сочетание рыночных стимулов, корпоративного участия и институциональной поддержки при одновременном укреплении связей с международным инновационным пространством.

Список литературы

1. Минниханов Р. Н., Сафиуллин М. Р., Ельшин Л. А. Модель поддержки технологического предприниматель-

ства в Республике Татарстан. В сборнике: Технологическое предпринимательство: пространство высших компетенций // сб. мат-лов XVIII Российского венчурного форума. Казань: 2024. С. 377–400.

2. Постановление Кабинета Министров Республики Татарстан № 1429 от 27.12.2022 «Об утверждении государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан».

3. Министерство науки и инновационной политики Новосибирской области. URL: <https://nauka.nso.ru/page/597>.

4. Московский инновационный кластер – субсидии, инвестиции, программы акселерации. URL: <https://i.moscow/>.

5. Рейтинг инновационного развития субъектов РФ: 10 выпуск // ВШЭ. URL: <https://issek.hse.ru/news/1068199937.html>.

6. Результаты конкурса «Студенческий Стартап» (очередь V) // Фонд содействия инновациям. URL: <https://fasie.ru/press/fund/studstartup-5-results/>.

7. Платформа университетского технологического предпринимательства. URL: <https://univertechpred.ru/novosti/20250625-v-rossii-v-2025-godu-poyavyatsya-shest-novykh-universitetskikh-startap-studiy/>.

References

1. Minnikhanov R. N., Safiullin M. R., Elshin L. A. Model of support for technological entrepreneurship in the Republic of Tatarstan. In the collection: Technological entrepreneurship: space of higher competencies. *Collection of materials of the XVIII Russian Venture Forum*. Kazan, 2024, pp. 377–400.

2. *Ob utverzhdenii gosudarstvennoy programmy Respubliki Tatarstan «Nauchno- tehnologicheskoe razvitie Respubliki Tatarstan* [On approval of the state program of the Republic of Tatarstan «Scientific and technological development of the Republic of Tatarstan»]. Resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Tatarstan no. 1429 dated 27.12.2022.

3. *Ministry of Science and Innovation Policy of the Novosibirsk Region*, available at: <https://nauka.nso.ru/page/597>.

4. *Moscow Innovation Cluster – subsidies, investments, acceleration programs*, available at: <https://i.moscow/>.

5. Innovative Development Ranking of Russian Federation Subjects: 10th Issue. *HSE*, available at: <https://issek.hse.ru/news/1068199937.html>.

6. Results of the Student Startup Competition (Stage V). *Foundation for Assistance to Small Innovative Enterprises*, available at: <https://fasie.ru/press/fund/studstartup-5-results/>.

7. *University Technological Entrepreneurship Platform*, available at: <https://univertechpred.ru/novosti/20250625-v-rossii-v-2025-godu-poyavyatsya-shest-novykh-universitetskikh-startap-studiy/>.

УДК

А. Ю. КЛОНИЦКАЯ, Ю. Ю. КОСЕНКОВА, кандидаты экономич. наук (Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва)

E-mail: Anna_klonitskaya@mail.ru

A. Yu. Klonitskaya, Yu. Yu. Kosenkova (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow)

Налоговые риски малого бизнеса в современной экономике: проблемы и направления нивелирования

Tax risks of small businesses in the modern economy: problems and ways to mitigate them

Тема налоговых рисков на современном этапе лежит в плоскости интересов научного, профессионального сообщества и представителей органов Государственной власти. Статья посвящена проблеме налоговых рисков представителей микро- и малого бизнеса. Для поиска баланса интересов сторон налоговых правоотношений необходимо разрабатывать такие решения для бизнеса, которые способствовали бы повышению эффективности хозяйственной деятельности за счет оптимизации налоговой нагрузки, и в то же время направлены на своевременное и полное исполнение налогоплательщиками своей налоговой обязанности, что обеспечит рост доходов бюджета. Авторами проклассифицированы налоговые риски бизнеса и представлены мероприятия по их нивелированию, а также проанализированы направления налоговой политики по налоговому стимулированию и контролю отдельных отраслей экономики и сформированы направления по повышению их эффективности.

The topic of tax risks at the present stage lies in the plane of interests of scientific, professional community and representatives of public authorities. The article is devoted to the problem of tax risks of representatives of micro and small businesses. In order to find a balance of interests of the parties to tax legal relations it is necessary to develop such solutions for business, which would contribute to improving the efficiency of economic activity by optimizing the tax burden, and at the same time were aimed at timely and full performance by taxpayers of their tax obligations, which will ensure the growth of budget revenues. The authors proclassified the tax risks of business and presented measures to mitigate them, as well as analyzed the directions of tax policy on tax incentives and control of certain sectors of the economy and formed directions to improve their effectiveness.

Ключевые слова: налоговые риски субъектов малого бизнеса; специальные режимы налогообложения; налоговая нагрузка; нивелирование рисков; налоговый контроль.

Keywords: tax risks of small businesses; special taxation regimes; tax burden; risk levelling; tax control.

В условиях стремительной цифровизации налогового администрирования, постоянного реформирования налогового законодательства и расширения аналитических возможностей ФНС, риск выявления нарушений, допущенных налогоплательщиками, существенно возрастает. Под особым вниманием находятся представители субъектов МСП, применяющие специальные режимы налогообложения, так как соответствие лимитам выручки, численности персонала, стоимости основных фондов нередко достигается через подмену квалификации сделок налогоплательщиков. При этом частота выявления схем формиро-

вания необоснованной налоговой выгоды, а также обилие факторов, свидетельствующих о незаконной налоговой оптимизации, нередко приводит к тому, что и добросовестные налогоплательщики попадают под особое внимание налоговых органов, не подозревая о наличии у себя признаков неблагонадежности. В этой связи для поиска вектора баланса интересов сторон налоговых правоотношений необходимо разрабатывать такие решения для бизнеса, которые способствовали бы выстраиванию эффективной системы управления налоговой безопасностью и в то же время направлены на своевременное и полное

исполнение налогоплательщиками своей налоговой обязанности.

Актуальность данной статьи обусловлена тем, что в условиях налогового реформирования и постоянно развивающейся контрольной деятельности налоговых органов, постоянный мониторинг, своевременное оценивание и направления по устранению налоговых рисков налогоплательщиков, использующих преимущества специальных налоговых режимов, становятся приоритетным направлением как самих хозяйствующих субъектов, стремящихся к оптимизации налоговой нагрузки, так и налоговых органов, контролирующих своевременное и полное исполнение налоговой обязанности бизнесом.

Цель данной работы – разработка предложений по нивелированию налоговых рисков при применении специальных налоговых режимов на основе анализа теоретических и практических аспектов налогового контроля в РФ, а также формирование мероприятий, направленных на снижение числа налогоплательщиков, незаконно уклоняющихся от уплаты налоговых платежей.

Проблема налоговых рисков при применении налогоплательщиками специальных налоговых режимов находит свое отражение в отечественной научной и профессиональной литературе. Ряд ученых рассматривают налоговые риски в рамках категории финансовых и правовых рисков и, типизируя и классифицируя их, уделяют внимание методам управления ими. Тихонова А.В. классифицирует налоговые риски по четырем направлениям: в области налогообложения добавленной стоимости; в области налогообложения прибыли и доходов; риски, источником которых является членство России в Евразийском экономическом союзе; таможенные риски [1]. Пенкин П. В. описывает систему типизационных признаков, предоставляющую возможность определения принадлежности той или иной фискальной угрозы к конкретному типу [2]. Клейменова Ю. А., Тищенко Е. С. в своих трудах определяют связь налоговых рисков и налоговой нагрузкой и классифицируют риски в зависимости от целей и стратегий хозяйствующих субъектов [3]. В издании [4] под редакцией Д. И. Ряховского риски группируются в зависимости от применяемых режимов налогообложения, а также в разрезе территориального уровня уплачиваемых налоговых платежей.

В условиях динамично меняющегося законодательства в связи и нововведениями в области правоприменительной практики налогоплательщики сталкиваются с рисками, которые еще не успели получить достаточного отражения в научной литературе. Поэтому формирования направлений по оздоровлению

налоговой ситуации в микро и малом бизнесе, использующем специальные налоговые режимы ввиду их динамичности и изменчивости, следует проводить посредством анализа научных изданий в совокупности с практическими руководствами, статьями и иными публикациями представителей-практиков профессионального сообщества.

В процессе написания статьи использованы следующие методы научного познания: эмпирический метод, системный анализ, сравнительный анализ, обобщение, метод экспертных оценок.

Основная часть

Как уже сказано выше, очевидными для субъектов, применяющих специальные режимы, являются риски, связанные с превышением лимитов, однако риски организационного характера (связанные с ошибками в отчетности или неподачей уведомлений о смене режима), а также риски несвоевременного отражения в деятельности положений постоянно изменяющихся правовых норм также представляют высокую опасность для налогоплательщика. Для возможности управления налоговыми рисками необходим комплексный подход, основанный на всестороннем учете особенностей ведения деятельности на спецрежиме. В то же время следует отметить, что управление налоговыми рисками отнюдь не заключается в способах и методах ведения налогового учета, применение которых поспособствуют уплате максимальных сумм налогов. Налоговая нагрузка должна быть таковой, чтобы организация могла сохранять финансовую устойчивость, ликвидность и продолжать оставаться конкурентоспособной на рынке. В то же время, специальные налоговые режимы предусмотрены налоговой политикой государства как дополнительный стимул для развития малого бизнеса, т. к. рост числа его представителей является показателем экономического роста, а экономика с развитым сектором МСП более гибкая, динамичная и способная адаптироваться к меняющимся условиям.

Реформа 2025 г. ознаменована большими изменениями в налоговом законодательстве, отраженными в Федеральном законе от 12.07.2024 № 176-ФЗ. Несмотря на то, что в официальных документах термина «налоговая реформа» не описано, те перемены, которые происходят в налоговом поле, поистине можно считать глобальными и реформаторскими. Те модификации, которые сегодня происходят с упрощенной системой налогообложения в совокупности с усилением контроля и «обелением» рынка «трудовой самозанятости» позволяет сделать вывод о том, что в настоящее время российские налогоплательщики подходят к стадии трансформации налоговой и пра-

новой систем. Сегодня уже вырисовывается градация субъектов предпринимательства, имеющих принципиально отличные условия налогообложения, дифференцированные по уровню дохода и определяемые в соответствии с выбранным режимом налогообложения: до 2,4 млн руб. – физические лица, занятые в предпринимательстве (самозанятые), а также физические лица – наемные работники, находящиеся на первой ступени по доходу по шкале НДФЛ, до 60 млн руб. – «малыши» ИП и ООО, бизнес с доходом более 60 млн руб. – малый, средний, и крупный бизнес, свыше 2 млрд руб. – крупные налогоплательщики, свыше 10 млрд руб. – крупнейшие. Очевидно, что с 2028 г. режим самозанятости будет изменен в части лимита доходов, ставок налогообложения, а также дополнительных критериев, разработка которых позволит нивелировать попытки подмены трудовых отношений отношениями с самозанятыми. Предположительно данный вид занятости будет распространяться на услуги между физическими лицами, как это и задумано на этапе внедрения налога на профессиональный доход. для полного перехода всех юридических лиц и индивидуальных предпринимателей на общий режим. Кроме этого, заместитель председателя комитета Госдумы по экономической политике Артем Кирьянов заявляет о том, что ИП будет исключены как форма ведения бизнеса ввиду ее «моральной устарелости». Кроме того, все более интересной становится роль и цели внедрения автоматической УСН. Можно предположить, что данный прозрачный и прослеживаемый режим придет на замену «безНДСным» упрощенцам, а для остальных налогоплательщиков сохранится только лишь общий режим налогообложения, а реформа 2025 г. в части НДС на УСН является только лишь промежуточным этапом перехода. На сегодняшний день данные предположения не имеют под собой обоснования, однако, очевидно, что в настоящее время, с одной стороны, налогоплательщики испытывают сильнейшие неудобства в связи с необходимостью подстраиваться под еженедельные изменения, уточнения, разъяснения в совершенно разных направлениях сферы налогов, с другой – государство предпринимает серьезные и «дорогие» шаги для выявления схем незаконной оптимизации налоговых обязательств налогоплательщиков, основанные на расширении функционала ФНС и смежных ведомств и структур, усилении их взаимодействия и масштабной цифровизации процессов в налоговом поле. В таких условиях добросовестному бизнесу особенно важно «оставаться на плаву», ввиду чего предупреждение налоговых рисков становится одной из приоритетных задач.

Ввиду универсальности и возможности вобрать в себя наибольшее количество представителей микро-, малого и среднего предпринимательства в дальнейшем в статье будут рассмотрены риски применения упрощенной системы налогообложения, а также предложены мероприятия по их нивелированию.

Анализируя риски, связанные с документооборотом с ФНС, в первую очередь хочется отметить те, которые возникают при переходе на специальный налоговый режим.

1. *Несвоевременная подача уведомления о переходе на УСН, либо смене объекта налогообложения.* В соответствии с п. 2 ст. 346.13 вновь созданные организации вправе применять УСН с момента создания организации при условии подачи соответствующего заявления одновременно с подачей заявления о постановке на налоговый учет в налоговом органе. Это означает, что отсутствие такого уведомления не позволяет налогоплательщику добровольно применять спецрежим. На практике дела обстоят таким образом, что ответственность по риску неподачи таких уведомлений несет налогоплательщик до тех пор, пока налоговый орган не примет отчетность по измененному режиму без выставления пояснений. Данное обстоятельство свидетельствует в пользу налогоплательщика и лишает контролеров аргументов для отказа в применении нового режима.

Аналогичные условия установлены и при смене объекта налогообложения на УСН. Смена объекта разрешена лишь раз в год, при подаче уведомления до 31 декабря, однако при первичном переходе на УСН в течение 30 дней сохраняется возможность изменить объект по усмотрению налогоплательщика, подав повторное уведомление.

2. *Риски превышения лимитов упрощенной системы налогообложения.* Сохранение лимитов применения упрощенной системы налогообложения является важной задачей бизнеса, стремящегося оптимизировать налоговую нагрузку. Проблемой современности является то, что, если до 2025 г. компаниям и ИП необходимо оставаться в лимитах по выручке в сумме 250 млн руб. для возможности быть освобожденным от НДС, то с вступлением в силу Федерального закона 176-ФЗ данный порог становится в разы меньше. В качестве компенсации за новое обязательство государством предложены пониженные ставки НДС, которые, по сути, представляют собой аналог налога с продаж и отличаются простотой применения. По мнению авторов, данное нововведение не сохранится в налоговом поле надолго, а будет играть лишь роль промежуточного этапа для перехода к полноценной уплате НДС. Данный аспект не имеет негативного окраса, так как общий режим налогообложения при

всей его сложности может оказаться не менее выгодным, чем упрощенка. Произойти это может, например, в случае отрицательного финансового результата (при ОСНО налог на прибыль не уплачивается, а при УСН уплачивается минимальный налог), а также в случае высокой расходной составляющей, если поставщики товаров, работ, услуг – плательщики НДС (при УСН входной НДС учитывается в расходах, а значит влияет на финансовый результат компании). Таким образом, важным аспектом при выборе режима налогообложения является не то, каково значение ставки налога на нем и количества уплачиваемых платежей, а какова структура поставщиков компании, финансовое состояние и стратегия.

Тем не менее, часто, чтобы оставаться в рамках спецрежима, налогоплательщики предпринимают незаконные методы оптимизации налоговой нагрузки:

1. Подмена договоров купли-продажи (договоров поставки) договором займа для дальнейшего зачета взаимных требований. Полученная сумма займа не отражается в доходах упрощенца в соответствии с пп. 10 п. 1 ст. 251, п. 1.1 ст. 346.15 НК РФ.

2. Необоснованные возвратные операции в конце отчетных периодов, что позволяет уменьшить значение суммы выручки при применении кассового метода. Изученная по данному вопросу судебная практика свидетельствует о том, что подобные возвратные операции привлекают особое внимание налоговых органов. Доказательная база нереальности таких операций выстраивается на факте отсутствия достоверной первичной документации, подтверждающей возврат покупателям уплаченных за товар денежных средств, а также объективной причины таких возвратов (отсутствие обоснованных претензий со стороны покупателя).

3. Использование договора простого товарищества. Данный вид договора дает возможность распределять величину дохода «упрощенцев» так, чтобы выручка каждого из участников договора не превышает установленный предел. При отсутствии деловой цели и реальности осуществления совместной деятельности, налоговые органы могут квалифицировать деятельность как умышленное дробление бизнеса и доначислить налоги с учетом консолидации доходов всех участников схемы.

4. Дробление бизнеса. Разделение бизнеса на несколько юридических лиц, не имеющее деловой цели и совершаемое между взаимозависимыми лицами, является ярким признаком уклонения от налоговой обязанности. В качестве признаков дробления, кроме указанных, часто выделяются следующие: наличие одинаковых собственников, руководителей или со-

трудников; совместное использование имущества, офисов, оборудования; единый IP-адрес, перекрестные финансовые потоки между компаниями. В таких случаях ФНС переквалифицирует деятельность компаний как единую хозяйственную структуру, и, консолидируя доходы всех участников структуры, основываясь на ст. 54.1 НК РФ, доначисляет налоги по общему режиму налогообложения.

5. Использование агентского договора. В рамках данного варианта оптимизации налоговой нагрузки можно выделить следующие риски: риск признания необоснованными расходы на выплату агентского соглашения, риск переквалификации агентского договора в иной (трудовой, поставки, подряда, купли-продажи), риск квалификации структуры договора как «дробление» (в соответствии с пп. 9 п. 1 ст. 251 НК РФ в доходах не учитываются денежные средства или имущество, поступившее агенту в связи с исполнением обязательств по договору комиссии или агентскому договору. Налоговая выгода применения такого договора заключается в том, что комиссионер-упрощенец, включает в налоговую базу по УСН только сумму комиссионного вознаграждения).

Ввиду частого использования указанных вариантов налоговой оптимизации умышленно, наличие в бизнес-отношениях подобных структур или договоров автоматически вызывает подозрение у налоговых органов. Часто добросовестным налогоплательщикам приходится сталкиваться с необходимостью дачи пояснений в ответ на налоговые требования или доказыванием своей правовой позиции в суде, что смещает фокус внимания с развития и повышения эффективности текущей деятельности на устранение претензий со стороны налоговых органов. В этой связи приоритетной задачей для налогоплательщиков становится разработка мероприятий, направленных на прогнозирование и предупреждение налоговых рисков. В случае наличия намерений по формированию указанных структур и договоров, налогоплательщику следует заблаговременно продумывать последствия таких решений и нивелировать налоговые риски.

В случае наличия договора займа с дальнейшим зачетом взаимных требований налогоплательщику необходимо обосновывать деловую цель займов (например, финансирование расходов по договору), предусмотреть в договоре график погашения задолженности, исключить признак регулярности с одними и теми же контрагентами, обеспечивать рыночность условий займа. Поскольку займы распространены и среди работодателей, финансирующих своих сотрудников, для избежания рисков переквалификации таких выплат в трудовые следует отражать в коллективном договоре или локальных нормативных актов

условия получения финансирования, предусмотреть график погашения процентов и избегать прощения долгов.

При наличии возвратных операций, следует обеспечить документальное обоснование возвратов. Возвраты должны сопровождаться заявлениями покупателя или письмами с просьбой о переносе оплаты на более поздний период. Следует отметить, что претензии налоговых органов неизбежны, если возвраты происходят в преддверии окончания налогового периода и могут повлиять на сохранение лимитов по УСН. В этой связи важным является планировать налоговую нагрузку заранее и предусматривать налоговые последствия.

При организации в течение налогового периода договора простого товарищества для нивелирования рисков его переквалификации в незаконное дробление следует заранее продумать деловую цель и вести раздельный учет операций в рамках такой структуры. Интересным и показательным в рамках данного риска является результат дела, в котором налогоплательщику удалось отстоять право на применение УСН, несмотря на очевидность схемы по сохранению лимитов для УСН. В рамках исполнения Госконтракта, платеж по третьему этапу, поступление которого привело бы к превышению лимитов по УСН, осуществлен на реквизиты простого товарищества, созданного исполнителем по госконтракту и еще одним юрлицом. Экспертные заключения, свидетельские показания, доказанность реальности и прозрачности сделок, а также наличия деловой цели в виде использования такой структуры как инструмента реализации конкретного бизнес-процесса, позволяют налогоплательщику избежать доначислений со стороны налоговых органов.

Формируя направления по нивелированию рисков по агентским договорам, следует, в первую очередь, проводить тщательный анализ агентского договора и подробно прописывать в нем обязанности агента (комиссионера), формы отчетности (с подробной детализацией), порядок формирования и уплаты вознаграждения. Исполнение функций агента должны быть фактически подтверждены также наличием деловой переписки. Внедрение агента в цепочку продаж должно быть экономически обоснованным и приводить к повышению результатов хозяйственной деятельности принципала (комитента), а сумма вознаграждений посреднику должна быть рыночной.

Для нивелирования рисков по подозрению в дроблении бизнеса, в первую очередь, необходимо обосновать деловую цель такого разделения. Это может быть разделение на каналы оптовой и розничной торговли, разделение в региональном аспекте для

формирования новых рынков, разделение, обосновывающее повышение эффективности финансово-хозяйственной деятельности и т. д. В своем труде Пьянова М. В. обращает внимание на то, что «многочисленность специальных налоговых режимов со схожими характеристиками и дальнейшее увеличение их количества влекут за собой риски сокращения налоговых поступлений в бюджет от малого и среднего бизнеса вследствие дробления действующих организаций», поэтому реформирование в данной области видится вполне логичным [5]. Проблема дробления наравне с техническими контрагентами стоит очень остро в правовом поле. Несмотря на популярность схемы дробления бизнеса среди налогоплательщиков, ее распространенность в ближайшей перспективе будет снижаться ввиду изменений в налоговом законодательстве, связанным с введением амнистии по дроблению, а также в силу введения НДС для применяющих упрощенную систему налогообложения.

Налоговое реформирование 2025 г.

Налоговое реформирование 2025 г. вводит новые ограничения и возможности, которые ставят перед налогоплательщиком новые задачи по налоговому планированию [6, 7]. Среди них:

- выбор оптимальной ставки НДС для «упрощенца»;
- переход на УСН с общего режима организациями, которые и ранее соответствуют критериям УСН, однако применяют общий режим для возможности работать с НДС.

Новая дифференциация ставок НДС связана не столько с самим значением, сколько с условиями их применения. Так, налогоплательщикам, выбирающим пониженные ставки НДС, следует учитывать невозможность принятия к вычету входящего НДС, обязанность восстановления НДС при переходе с общего режима, неизменность выбранной ставки в течение 3 лет, а также невозможность начислять НДС с межценовых разниц в случае перепродажи товаров, приобретенных у физических лиц или при реализации основных средств, приобретенных во время применения общего режима. Кроме того, для налогоплательщиков, применяющих нулевую ставку НДС и перешедших на УСН с пониженными ставками, следует принимать во внимание невозможность в дальнейшем принимать к вычету входящий НДС. Обязанность уплаты НДС налоговыми агентами и импортерами сохраняется исходя из стандартных ставок НДС. Применение стандартной ставки НДС может быть оптимальным в том случае, если налогоплательщик имеет существенную долю входящего НДС. В любом случае, моделирование налого-

вой нагрузки по двум сценариям исходя из особенностей вида деятельности хозяйствующего субъекта, а также структуры контрагентов будет способствовать выбору оптимальной ставки НДС.

Что касается перехода на режим УСН с общего, то здесь также имеются свои нюансы, которые следует учитывать. Стремление сэкономить на уплате налога на прибыль может обернуться для налогоплательщика увеличением нагрузки. Так, сумма минимального налога на УСН может превышать налог на прибыль организаций в том случае, если у организации высокая доля расходов или убыточный период. В этой связи необходимо прогнозировать налоговую нагрузку на основе ретроспективного анализа доходов и расходов с учетом перехода на кассовый метод. Экономическая обоснованность расходов в совокупности с документальной подтвержденностью остаются важнейшими условиями для их признания.

Выше перечислены лишь некоторые риски, с которыми сталкивается налогоплательщик при применении упрощенной системы налогообложения. Рост числа незаконных налоговых схем по-прежнему имеет положительную динамику. Контрольные органы выявляют все больше признаков получения необоснованной налоговой выгоды субъектами предпринимательства. Зачастую при попытке злоупотребления указанными способами оптимизации налоговой нагрузки, итоговые доначисления налогов, пеней и штрафов существенно превышают предполагаемую экономию. Кроме этого, наличие признаков недобросовестности провоцирует и репутационные риски налогоплательщика, которые оказывают влияние на выбор его в качестве поставщика товаров (работ, услуг) другими налогоплательщиками в рамках процедуры коммерческой осмотрительности.

Далее следует рассмотреть направления налоговой политики, целью которых является выявление типичных схем незаконной оптимизации налоговой нагрузки и «обеления» теневого бизнеса. Если исследовать аналитические данные по субъектам малого и среднего предпринимательства за последние годы, то можно обнаружить, что самыми популярными ОКВЭД в течение последних лет остаются строительство, оптовая торговля и деятельность ресторанов и кафе. В то же время данные виды деятельности остаются лидерами в теневом секторе экономики. В совокупности с мерами по усилению контроля за ведением хозяйственной деятельности субъектов предпринимательства направления налоговой политики связаны с формированием стимулирующей среды и благоприятных условий для обеления бизнеса. Так, с 2022 г. в соответствии с пп. 38 п.3 ст. 149 НК РФ организации общественного питания освобождены

от уплаты НДС при выполнении ряда условий. Одновременно с введением такого стимула ФНС приступает к реализации отраслевого проекта «Общественное питание», целью которого является контроль за повсеместностью и корректностью использования контрольно-кассовой техники. Для поддержки строительной отрасли также регулярно разрабатываются новые меры. Так, для строительства жилых домов и объектов промышленного назначения упрощена разработка градостроительной документации, предложена льготная аренда земельных участков. Для малого бизнеса на региональном уровне вводятся патенты с разрешенным видом деятельности – строительство. Так, в Закон Московской области внесены изменения, согласно которым в состав относящихся к бытовым услугам видов предпринимательской деятельности, которые могут быть переведены на ПСН, включены в т. ч. строительство жилых и нежилых зданий. Однако, отрасль строительства по-прежнему считается проблемной с точки зрения полноты исполнения налоговых обязательств. Кроме этого, правоприменительная практика изобилует делами, когда в отрасли общепита, торговле, строительстве выплаты исполнителям в рамках договоров ГПХ переквалифицированы в трудовые выплаты с последующим доначислением НДФЛ, страховых взносов, а также пеней и штрафов. Для борьбы с нелегальной занятостью Правительство разрабатывает план на 2025–2027 гг., основная цель которого – уменьшить теневую занятость и обозначить признаки трудовых отношений.

Таким образом, эффективным видится анализ структуры самых популярных ОКВЭД среди представителей малого предпринимательства для формирования, с одной стороны, мероприятий, направленных на повышение привлекательности отрасли за счет налоговых льгот и преференций, а с другой – разработка мер по выводу из тени части бизнеса на основе мониторинга частоты применения типичных схем недобросовестной оптимизации налоговой нагрузки.

Выводы. 1. Наличие в налоговом поле льготных режимов налогообложения и иных преференций в отношении отдельных категорий налогоплательщиком является одним из базисов построения эффективной налоговой системы.

2. Однако грань между легальной оптимизацией и попытками уклонения от налогов может быть довольно тонкой и поэтому зачастую данные привилегии используются бизнесом не в качестве задела для роста и развития, а как возможность незаконно снизить налоговую нагрузку. Выявление все новых и новых признаков незаконного ведения бизнеса вызывает необходимость добросовестным налогоплательщикам регулярно мониторить финансово-хозяйственную де-

тельность на предмет правильности оформления договоров, проявления должной осмотрительности в отношении контрагентов, корректностью организации ЭДО (в т. ч. с налоговой), точности расчета финансовых и физических показателей и др.

3. В представленной статье исследованы налоговые риски хозяйствующих субъектов, применяющих специальные режимы налогообложения, и в частности, упрощенную систему. Для наиболее популярных рисков предложены направления по их нивелированию. Внедрение риск-ориентированного подхода в деятельность хозяйствующих субъектов может послужить ключевым инструментом в предупреждении претензий налоговых органов, и способствовать такому выстраиванию внутренних процессов и структуры бизнеса, основой которых являются бы прозрачность и соблюдение требований законодательства с одновременным использованием специальных налоговых режимов. Стабильное развитие бизнеса с постепенным переходом из категории микро в крупный является фактором успешно развивающейся экономики и обеспечивает повышение роста доходов бюджета.

Список литературы

1. Тихонова А. В. Разработка системы управления налоговыми рисками государства // Проблемы анализа риска. 2020. Т. 17. № 6. С. 62–75.
2. Пенкин П. В. Налоговые риски и возможности управления ими // Вестник Российского университета кооперации. 2018. № 3 (33). С. 64–70.
3. Клейменова Ю. А., Тищенко Е. С. Влияние налоговых рисков на оптимизацию налоговой нагрузки организаций малого бизнеса // Региональные проблемы преобразования экономики. 2024. № 4 (162). С. 330–335.
4. Адвокатова А. С., Антонова М. Б., Батарин А. А. и др. Налоговые риски бизнеса. М.: Изд-во МАГИСТР. 2025. 488 с.
5. Пьянова М. В. О необходимости реформирования налогообложения малого и среднего предпринимательства // Налоги. 2023. № 1. С. 2–9.
6. Федеральный закон от 12 июля 2024 г. № 176-ФЗ «О внесении изменений в части первую и вторую Налогового кодекса РФ, отдельные законодательные акты Российской Федерации и признании утратившими силу отдельных положений законодательных актов Российской Федерации».
7. Пансков В. Г. О перестройке системы налогообложения малого предпринимательства // Финансы. 2022. № 1. С. 13–19.

References

1. Tikhonova A. V. Development of tax risk management system of the state. *Problems of risk analysis*, 2020, vol. 17, no. 6, pp. 62–75.
2. Penkin, P. V. Tax risks and opportunities to manage them. *Vestnik of the Russian University of Cooperation*, 2018, no. 3 (33), pp. 64–70.
3. Kleimenova Y. A., Tishchenko E. S. The influence of tax risks on the optimization of tax burden of small business organizations. *Regional problems of economic transformation*, 2024, no. 4 (162), pp. 330–335.
4. Advokatova A. S., Antonova M. B., Batarin A. A. et al *Nalogovye riski biznesa* [Tax risks of business]. Moscow, Magistr, 2025, 488 p.
5. Pyanova M. V. On the need to reform the taxation of small and medium-sized businesses. *Taxes*, 2023, no. 1, pp. 2–9.
6. *On amendments to Parts One and Two of the Tax Code of the Russian Federation, certain legislative acts of the Russian Federation and invalidation of certain provisions of legislative acts of the Russian Federation*. Federal Law no. 176-FZ dated 12.07.2024.
7. Panskov V. G. On the restructuring of the small business taxation system. *Finance*, 2022, no. 1, pp. 13–19.

УДК 625.031.3:629.35:656.135:656.085

А. В. МЕХРЕНЦЕВ, И. Н. КРУЧИНИН (Уральский государственный лесотехнический вуз, г. Екатеринбург); **В. П. ЧАСОВСКИХ, Е. Н. СТАРИКОВ** (Уральский государственный экономический университет, г. Екатеринбург)

E-mail: u2007u@yandex.ru

A. V. Mekhrentsev, I. N. Kruchinin (Ural State Forestry University, Yekaterinburg); **V. P. Chasovskikh, E. N. Starikov** (Ural State Economic University, Yekaterinburg)

Транспортное обеспечение предприятий лесного комплекса в условиях реализации природоподобных технологий на примере Свердловской области

Transport support for enterprises of the forestry complex in the context of the implementation of nature-like technologies on the example of the Sverdlovsk region

Обоснована необходимость повышения производительности вывозки древесного сырья при внедрении природоподобных технологий лесопользования. Детально рассмотрены эксплуатационные показатели дорожно-транспортной инфраструктуры лесопромышленных предприятий, включая Свердловскую область. Проанализированы методы увеличения разрешенной массы лесовозных автопоездов и предложены прикладные мероприятия, улучшающие рентабельность, экологичность и безопасность зимней логистики древесных грузов.

The paper substantiates ways to raise the performance of timber export operations through the adoption of nature-mimicking technologies. It presents a comprehensive assessment of the configuration and operational parameters of the motor-road infrastructure serving forestry enterprises, with a particular focus on the Sverdlovsk Region's highway network. Various engineering and organizational approaches aimed at increasing the permissible gross weight of logging road trains during forest freight haulage are explored. Finally, the authors propose a set of applied measures designed to boost the productivity and cost-effectiveness of wintertime timber transportation.

Ключевые слова: лесные транспортные пути; грузоподъемность дорожного полотна; осевая нагрузка; лесовозный автопоезд.

Keywords: forest transport routes; bearing strength; axle pressure; timber haulage convoys.

Природоподобные технологии представляют собой совокупность инженерных решений, имитирующих структуры и механизмы функционирования живой природы и реализуемых в форме техносистем, органично встроенных в естественные биогеохимические циклы. Их ключевая характеристика – поддержание экологической устойчивости и целенаправленное восстановление нарушенного антропогенной деятельностью равновесия между биосферой и техносферой. В лесном секторе концепция выражается через модель активного адаптивного лесопользования, предотвращающего деградацию экосистем и усиливающего их резистентность. Методы интенсивного хозяйствования, поэтапно повторяющие естественный сукцессионный цикл леса, служат научно-тех-

нологической основой для разработки и внедрения таких природоподобных решений.

Ключевым элементом любого производственного цикла выступает его транспортно-логистическое сопровождение, опирающееся на развитую сеть лесовозных дорог, и бесперебойная эксплуатация данной транспортной инфраструктуры. Для природоподобных технологий, реализуемых в управляемых лесных экосистемах, характерна непрерывная реализация лесохозяйственных операций с регулярным выборочным извлечением части древостоя по достижении им зрелости, а также при проведении рубок ухода.

Согласно актуальным нормативно-правовым актам [1] лесная дорожно-транспортная сеть по функциональному признаку делится на две группы:

лесовозные и лесохозяйственные дороги. Лесовозные дороги используют для вывоза заготовленной древесины из лесосек, транспортировки лесозаготовительной и вспомогательной техники, сопутствующих материально-технических грузов, а также для доставки рабочей смены к объектам работ и обратно, параллельно решая лесохозяйственные задачи – охрану, защиту и воспроизводство насаждений. Регламентированная классификация подразделяет лесные дороги на:

- лесовозные лесные дороги;
- лесные дороги лесохозяйственного назначения.

При переходе арендованного лесфонда на природоподобные технологии подобная дифференциация утрачивает практическую значимость. Сформированная сеть лесных дорог – как круглогодичного, так и ограниченного сезонами пользования – обязана обеспечивать непрерывность всего производственно-технологического цикла: проведение лесохозяйственных работ, профилактику и тушение лесных пожаров, а также вывоз древесной и недревесной продукции либо полуфабрикатов.

Лесные дороги постоянного пользования, относящиеся к объектам капитального строительства, классифицируются на магистральные, боковые ветки и усики. Временные (сезонные) трассы капитальными сооружениями не считаются, прокладываются без подготовки полноценного проектно-сметного комплекса и делятся на летние и зимние. Зимние проходы, как правило, формируют по переувлажненным либо заболоченным территориям. По окончании срока аренды лесфонда сезонные дороги подлежат обязательному комплексному демонтажу с вывозом материалов и последующей рекультивацией нарушенных земель.

При проектировании транспортно-эксплуатационной схемы освоения лесфонда необходимо предусматривать меры по снижению воздействия дорожной инфраструктуры на экосистемы, обеспечивать охрану водных объектов от техногенных загрязнений, а также не допускать нарушения естественного водного стока.

Учитывая изложенные аргументы, при внедрении природоподобных технологий целесообразно планировать основные транспортно-логистические операции на зимний сезон: промерзание почвенной влаги существенно минимизирует риск деформаций и разрушений объектов транспортной инфраструктуры лесохозяйственного предприятия.

Настоящее исследование направлено на разработку комплекса мер, обосновывающих увеличение допустимой полной массы лесовозного автопоезда при зимней перевозке древесных материалов.

Сегодня одним из ключевых вызовов, предопределяющих траекторию научно-технологического прогресса, становится задача рационального освоения национального пространства и его ресурсного потенциала через сглаживание региональных социально-экономических диспропорций и устранение инфраструктурной дифференциации [2].

Ключевую роль в работе логистической цепочки вывоза древесины играют автодороги. Лесотранспортная инфраструктура объединяет трассы первичного звена на арендованных землях, специализированные лесовозные магистрали, а также сеть дорог общего пользования. Тем самым почти три четверти указанных путей эксплуатируются на предельных транспортно-технических параметрах.

Комплексный анализ актуальных научных работ, посвященных логистике агропромышленного комплекса, выявляет две ключевые стратегии развития: оптимизация параметров транспортно-технологического парка машин и совершенствование транспортно-эксплуатационных характеристик автодорожной инфраструктуры.

Эффективность вывоза древесины существенно снижается из-за ярко выраженной сезонности, характерной для таежных зон. К примеру, в пределах Уральского федерального округа в летние месяцы несущая способность грунтов падает настолько, что до 70 % лесных кварталов становятся недоступными для лесовозной техники. Дополнительно сами лесотранспортные операции усиливают антропогенную нагрузку, провоцируя деградацию почвенного покрова и нарушение лесных экосистем.

Помимо уже названных факторов, существует еще ряд условий, напрямую определяющих результативность транспортировки древесного сырья. Небольшие лесозаготовительные компании фактически оставлены без поддержки и вынуждены подстраиваться под имеющуюся сеть ведомственных лесовозных трасс и автомобильных дорог общего пользования. При этом значительная часть хозяйств вовсе не осуществляет диагностику, содержание и повышение транспортно-эксплуатационных показателей лесовозных магистралей.

Автомобильные дороги общего пользования проектируются и функционируют как круглогодичные магистрали, обеспечивающие непрерывный пропуск транспортного потока – легковых машин, грузовиков и автопоездов с нормативными осевыми нагрузками и полной массой, установленными для подвижного состава, эксплуатируемого на таких трассах. Предельные значения скоростей задаются ПДД РФ. Основным критерием пригодности служит транс-

портно-эксплуатационное состояние дороги (ст. 3.1 ФЗ № 257-ФЗ) [3].

Транспортно-эксплуатационное состояние автомобильной дороги (ТЭС АД) представляет собой совокупность параметров и эксплуатационных характеристик дорожного полотна, формирующих его потребительскую ценность. К основным транспортно-эксплуатационным показателям трассы относят: допустимый скоростной режим, уровень безопасности, предельную осевую нагрузку, максимально разрешенную массу транспортных средств, а также такие критерии, как ровность и сцепные свойства покрытия [4].

Будущее эффективной эксплуатации лесных ресурсов Свердловской области определяется главным образом развитием транспортной инфраструктуры и созданием устойчивых логистических коридоров к лесосырьевым площадям.

Совокупная длина лесовозных автодорог достигает 16 163 км, из которых 946 км относятся к круглогодичным трассам, а 4507 км – к зимникам (см. табл. 1).

Транспортная обеспеченность региона выражается плотностью дорожной сети 7,6 км/тыс. га; в лесфонде лесовозные дороги составляют 4 км/тыс. га (см. табл. 2).

Таблица 1

Протяженность дорожной сети Свердловской области, км

Виды дорог	Протяженность дорог, км				
	Лесохозяйственных (по типам)				Лесовозных
	I	II	III	итого	
Дороги – всего, в т. ч.:	5480	19 281	57 389	82 150	16163
а) автомобильные, из них:	4442	17 282	52 710	74 434	10208
с твердым покрытием;	545	169	133	847	1094
грунтовые,	3897	17 113	52 577	73 587	9114
включая объекты круглогодичной эксплуатации	964	3435	8781	13 180	946
б) зимники	903	1999	4679	7581	4507
в) железные	135	0	0	135	1448

Таблица 2

Длина и удельная плотность лесовозных дорог в лесничествах Свердловской области

№ п/п	Наименование лесничества	Площадь лесничества, тыс. га	Протяженность автодорог (без ж/д и зимников), км	Плотность дорог, км/тыс. га
1	Алапаевское	493,1	2975,062	6
2	Байкаловское	247,9	891,218	3,6
3	Березовское	154,4	1394,902	9
4	Билимбаевское	251,9	1697,247	6,7
5	Верх-Исетское	38,4	439,213	11,4
6	Верхотурское	390,5	2234,698	5,7
7	Гаринское	1553,4	854,907	0,6
8	Егоршинское	159,3	1133,377	7,1
9	Ивдельское	2501,3	7854,824	3,1
10	Ирбитское	248,3	1234,336	5,0
11	Камышловское	178,3	1389,335	7,8
12	Карпинское	899,4	18988,98	21,1
13	Красноуфимское	427,7	3687,288	8,6
14	Кушвинское	524,3	8303,302	15,8
15	Невянское	229,3	2086,047	9,1
16	Нижне-Сергинское	395,9	2702,955	6,8
17	Нижне-Тагильское	573,4	3100,83	5,4
18	Ново-Лялинское	609,4	3847,483	6,3
19	Режевское	125,4	767,185	6,1

Окончание табл. 2

№ п/п	Наименование лесничества	Площадь лесничества, тыс. га	Протяженность автодорог (без ж/д и зимников), км	Плотность дорог, км/тыс. га
20	Свердловское	142,3	1443,852	10,1
21	Серовское	428	2252,022	5,3
22	Синячихинское	482	21508	44,6
23	Сотринское	771,5	3842,247	5
24	Сухоложское	209,3	1436,341	6,9
25	Сысертское	274,6	2473,657	9
26	Таборинское	1065,9	651,199	0,6
27	Тавдинское	559,8	2124,443	3,8
28	Талицкое	232,6	1673,689	7,2
29	Тугулымское	229,4	1252,07	5,5
30	Туринское	426,4	1637,02	3,8
31	Шалинское	458,4	3220,82	7
Итого		15281,6	108651,5	7,1

Уровень транспортной освоенности лесничеств Свердловской области заметно варьирует. Плотность лесовозных дорог колеблется от 0,6 км на тысячу гектаров в Гаринском лесничестве до 46,6 км/тыс. га в Синячихинском. Такое диспропорциональное распределение магистральной и технологической сети требует ускоренного возведения лесных и деревообрабатывающих инфраструктурных объектов силами арендаторов и регионального лесного хозяйства, что повысит рентабельность заготовки древесины, улучшит противопожарную безопасность и обеспечит устойчивое лесопользование.

Сегодня для транспортировки лесоматериалов от делянки до нижнего склада преимущественно применяются лесовозные автопоезда, собранные на шасси средне- и большегрузных автомобилей. Из-за внушительной длины сортиментов используются сцепы с роспуском либо полуприцепным звеном. На практике масса пачки, уложенной в коники, нередко превышает расчетную грузоподъемность, что приводит к перегрузке рамы, подвески и сцепного устройства и, как следствие, к превышению допустимых осевых

нагрузок (см. рис. 1) [5], особенно у самопогружающихся лесовозов с манипуляторным краном, закрепленным на хвостовой балке тягача.

Эксплуатация лесотранспортной инфраструктуры неразрывно связана с функционированием сети автомобильных дорог общего пользования. Итоговые сведения о плотности транспортного потока на 615-километровом участке магистралей Свердловской области, полученные в ходе обследования ГКУ СО «Управление автомобильных дорог» и сведенные в табл. 1, показывают, что удельный вес специализированного лесовозного автопарка в структуре всего грузового трафика варьируется от 29 до 36 %.

В структуре логистических потоков среднее плечо транспортировки древесины по автодорожной сети различного подчинения распределяется следующим образом: на специализированные лесовозные трассы приходится около 33,2 %, на федеральные магистрали общего пользования – порядка 20,8 %, тогда как региональные автодороги общего пользования обеспечивают оставшиеся 46 %.

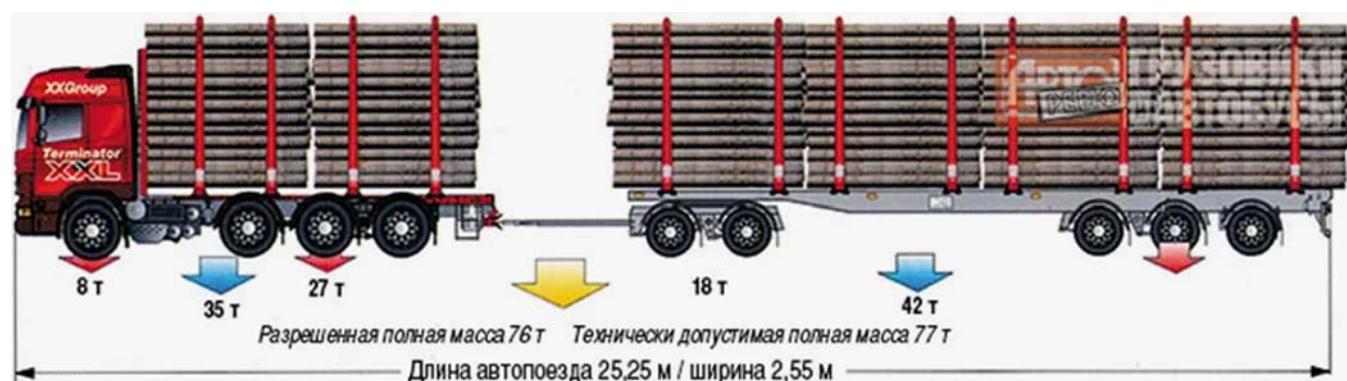


Рис. 1. Схема распределения осевых нагрузок

Таблица 3

Усредненные показатели структуры транспортного потока и его суточной интенсивности на территории Свердловской области, подготовленные на основе сведений ГКУ СО «УАД»

Тип автомобиля	Доля в потоке, %	Интенсивность, авт/сут
Легковые	68	6219
Грузовые легкие	8	734
Грузовые средние	5	488
Грузовые тяжелые	2	219
Грузовые сверхтяжелые	15	1291
Автобусы	2	184

Большинство исследователей приходит к выводу, что при одновременном воздействии многократно циклических автомобильных нагрузок и климатических факторов в земляном основании и слоях дорожной одежды формируется напряженно-деформированное состояние, которое, постепенно накапливаясь, вызывает их усталостное разрушение [6, 7].

К ключевым относятся экзогенные факторы, включающие влияние транспортно-дорожной нагрузки и совокупность природно-климатических воздействий [8].

К числу внутренних факторов относят совокупность физико-механических параметров всей дорожной конструкции и материалов ее слоев, охватывающих как элементы многослойной дорожной одежды, так и грунты активной зоны земляного полотна. Действие этих факторов провоцирует раз-

витие в конструктивных слоях покрытия пластических и вязкопластических деформаций различной интенсивности. Масштаб получаемых перемещений определяется комплексом нагрузочных характеристик (величиной приложенной силы, площадью ее распределения, продолжительностью воздействия, а также суммарным числом повторных нагружений) и реологическими показателями материалов как слоев дорожной одежды, так и грунтов основания земляного полотна.

Хотя летняя эксплуатация автомобильных дорог исследована достаточно подробно, в холодный сезон обслуживание магистралей с асфальтобетонным покрытием демонстрирует ряд принципиальных особенностей (см. рис. 2), обусловленных воздействием отрицательных температур, циклов замораживания-оттаивания и связанных с ними нагрузок [9].

По данным многочисленных экспериментальных работ установлено, что при стандартной температуре 20 °С предел прочности асфальтобетонной смеси на сжатие приближается к 2,5 МПа, тогда как сопротивление растяжению оказывается примерно в 6–8 раз ниже. При охлаждении материал «светлеет» и прочность на сжатие возрастает до 15–20 МПа при –15 °С, а при нагреве, вследствие интенсификации вязкопластических деформаций, падает до 1,0–1,2 МПа при +50 °С [10, 11].

Аналогичные выводы закреплены в действующих дорожностроительных регламентах (см. табл. 4), что интерпретируется как рост несущего потенциала асфальтобетонного слоя [12].



Рис. 2. Зимняя вывозка леса

Таблица 4

Физико-механические характеристики, определяющие несущую способность асфальтобетонных покрытий

Наименование показателя	Ключевая роль марки асфальтобетонной смеси								
	I			II			III		
	Для дорожно-климатических зон								
	I	II, III	IV,V	I	II, III	IV, V	I	II, III	IV, V
Нормативная прочность асфальтобетонных смесей при сжатии (50 °С) должна соответствовать обязательному требованию: не ниже, МПа.									
- высокоплотных	1,0	1,1	1,2	–	–	–	–	–	-
- плотных типов:									
A	0,9	1	1,1	0,8	0,9	1	–	–	–
Б	1	1,2	1,3	0,9	1	1,2	0,8	0,9	1,1
В	–	–	–	1,1	1,2	1,3	1,0	1,1	1,2
Г	1,1	1,3	1,6	1	1,2	1,4	0,9	1	1,1
Д	–	–	–	1,1	1,3	1,5	1	1,1	1,2
Минимальное значение предела прочности при одностороннем сжатии асфальтобетонных смесей всех категорий при 20 °С, МПа, должно быть не ниже	2,5	2,5	2,5	2,2	2,2	2,2	2	2	2
Предельная прочность на сжатие при 0 °С для всех марок асфальтобетона, МПа, допускается не выше	9	11	13	10	12	13	10	12	13
Показатель трещиностойкости, определяемый по пределу прочности асфальтобетонной смеси на раскалывающее растяжение при 0 °С и скорости деформирования 50 мм/мин, для всех марок асфальтобетонов, МПа:									
- не менее	3	3,5	4	2,5	3	3,5	2	2,5	3
- не более	5,5	6	6,5	6	6,5	7	6,5	7	7,5

Установлено, что формирование колеи в холодный период напрямую связано с резким повышением пропускной нагрузки автомобильного потока (по данным о транспортной интенсивности за 2010–2013 гг.) и широким использованием на легковых машинах зимних шин со смягченным протектором [13, 14].

Одним из косвенных индикаторов допустимого, т. е. нормального, износа дорожного покрытия, проявляющегося в виде колеи от многократного воздействия колес легковых автомобилей, считается стабильная по всей длине участка ширина между осями левой и правой колеи. Этот интервал удерживается в диапазоне 147–151 см, полностью совпадая со среднестатистической колеей легкового транспорта. Дополнительным подтверждением служит характерная узкопрофильная форма колеи, образованная шинами легковиков.

Около 15–20 % случаев формирования колеи в асфальтобетонных слоях обусловлено пластическими деформациями дорожного покрытия. Механизм сводится к накоплению остаточных вертикальных смещений, вызванных ростом пластичности материала, т. е. уменьшением его структурной вязкости при повышенных температурах. Это связано с падени-

ем вязкости битума и снижением его сопротивления сдвигу, что практически не наблюдается в зимних климатических условиях Урала. В теплый сезон активизируется ползучесть асфальтобетонной смеси.

О необходимости повышения прочностных характеристик грунтов, формирующих земляное полотно, прямо говорится и в отраслевом нормативе «Проектирование, строительство и эксплуатация зимних автодорог в районах Сибири и Северо-Востока СССР» [15].

Выводы. 1. При осуществлении перевозок древесины автопоездами по региональным дорогам общего пользования в зимнее время следует учитывать, что из-за промерзания конструктивных слоев несущая способность дорожной одежды увеличивается, позволяя кратковременно повышать допустимую осевую нагрузку на 10–15 % выше проектной нормы.

2. Из-за специфичных конструктивных параметров лесовозные автопоезда зачастую формируют осевую нагрузку, превышающую допустимые значения, следовательно, для минимизации износа асфальтобетонного покрытия важно регламентировать и снижать их эксплуатационные скорости.

3. При определении величины ущерба, наносимого транспортными средствами – прежде всего лесовозными автопоездами, работающими в зимний сезон – в случаях превышения предельно допустимых осевых нагрузок на одну ось ($P_{\text{пони}}$) (см. п. 3 [16]), следует рекомендовать применять показатель степени для коэффициента $\Pi_{\text{ос}}$, характеризующего избыток фактической осевой нагрузки над нормативной для дороги, равный 1,32.

Список литературы

1. СП 288.1325800.2016 «Лесные автомобильные дороги. Нормативы проектирования и возведения», утвержденный приказом Минстроя РФ № 952/пр от 16 декабря 2016 г., с актуализированной редакцией от 07.12.2021.
2. Указ Президента РФ № 145 от 28.02.2024 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».
3. Федеральный закон РФ № 257-ФЗ от 08.11.2007 «О федеральных и региональных автомобильных дорогах, регулировании дорожной деятельности на территории Российской Федерации, а также о внесении поправок в ряд действующих законодательных актов РФ».
4. ОДН 218.0.006–2002 «Правила проведения диагностики и комплексной оценки состояния автомобильных дорог», утвержденные распоряжением Минтранса РФ от 03.10.2002 № ИС-840-р.
5. ГОСТ 30412–96. Автомобильные дороги и аэродромы: методы контроля и измерения неровностей оснований и покрытий.
6. Смирнов М. Ю. Повышение эффективности вывоза лесоматериалов автопоездами. Науч. моногр. Оптимизация автопоездов. Йошкар-Ола: МарГТУ. 2003. 280 с.
7. Приказ Минтранса РФ от 16.11.2012 № 402.2012 г. «Методические указания по диагностике и ликвидации колеиности на гибких слоях дорожного покрытия», утвержденные распоряжением Минтранса РФ от 24.06.2002 № ОС-556-Р.
8. ВСН 137-89. Проектирование, возведение и эксплуатационное обслуживание зимних автодорог в суровых климатических условиях Сибири и северо-восточных регионов СССР: нормативный документ. М.: Изд-во «Транспорт». 1991. 157 с.
9. Подольский В. П., Самодурова Т. В., Федорова Ю. В. Экологические аспекты зимнего содержания автомобильных дорог и влияния противогололедных реагентов на окружающую среду: монография. Воронеж: ВГАСА. 2000. 152 с.
10. Рыбьев И. А. Строительное материаловедение: учебник. М.: Высшая школа. 2004. 569 с.
11. Углова Е. В., Илиополов С. К., Селезнев М. Г. Усталостная устойчивость действующих асфальтобетонных дорожных покрытий. Ростов-на-Дону: РГСУ. 2009. 244 с.
12. ГОСТ 9128–2009 «Смеси асфальтобетонные для автомобильных дорог и аэродромных покрытий, а также асфальтобетон. Общие технические требования». М.: ФГУП «Стандартинформ». 2010.

13. Васильев Ю. В., Беляев Н. Н. Колея износа: факты против заблуждений // Автомобильные дороги. 2014. № 12. С. 66–70.

14. Методические рекомендации по диагностике и ликвидации колеиности на конструкциях нежесткого типа дорожных покрытий, утвержденные распоряжением Министерства транспорта Российской Федерации от 24 июня 2002 г. № ОС-556-Р.

15. ВСН 137-89 Рекомендации по проектированию, возведению и эксплуатационному содержанию зимних автодорог, функционирующих в суровых климатических условиях Сибири и северо-востока СССР: нормативный текст; введен 01.01.1990. М.: Транспорт. 1991. 157 с.

16. Постановление Правительства РФ № 12 от 09.01.2014, которое вносит корректировки в ряд действующих нормативных актов Кабина, уточняя порядок выдачи спецразрешений, условия перевозки и нормативы нагрузки при транспортировке тяжеловесных грузов автомобильными дорогами РФ.

References

1. *Lesnye avtomobil'nye dorogi. Normativy proektirovaniya i vozvedeniya* [Forest Roads. Design and Construction Standards]. Set of rules 288.1325800.2016, approved by Order of the Ministry of Construction of the Russian Federation no. 952/pr dated 16.12.2016.
2. *O Strategii nauchno-tehnologicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii* [On the Strategy for Scientific and Technological Development of the Russian Federation]. Decree of the President of the Russian Federation no. 145 dated 28.02.2024.
3. *O federal'nyh i regional'nyh avtomobil'nyh dorogah, regulirovanii dorozhnoj dejatel'nosti na territorii Rossijskoj Federacii, a takzhe o vnesenii popravok v rjad dejstvujushhih zakonodatel'nyh aktov RF* [On Federal and Regional Highways, Regulation of Road Activities on the Territory of the Russian Federation, and Amendments to a Number of Current Legislative Acts of the Russian Federation]. Federal Law of the Russian Federation no. 257-FZ dated 08.11.2007.
4. *Pravila provedeniya diagnostiki i kompleksnoj ocenki sostojaniya avtomobil'nyh dorog* [Rules for Conducting Diagnostics and Comprehensive Assessment of the Condition of Highways]. ODN 218.0.006–2002, approved by Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation no. IS-840-r dated 03.10.2002.
5. *Avtomobil'nye dorogi i ajerodromy: metody kontrolja i izmereniya nerovnostej osnovanij i pokrytij* [Highways and Airfields: Methods for Monitoring and Measuring the Unevenness of Bases and Pavements]. State Standard no. 30412–96.
6. Smirnov M. Yu. *Povyshenie jeffektivnosti vyvoza lesomaterialov avtopoezdami. Nauch. monogr. Optimizacija avtopoezdov* [Increasing the Efficiency of Timber Removal by Road Trains. Scientific Monograph. «Optimization of Road Trains»]. Yoshkar-Ola, MarSTU, 2003, 280 p.
7. *Metodicheskie ukazaniya po diagnostike i likvidacii kolejnosti na gibkih slojah dorozhnogo pokrytija* [Guidelines for the diagnosis and elimination of rutting on flexible layers

of road surfaces]. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation no. 402.2012 dated 16.11.2012.

8. *Proektirovanie, vozvedenie i jekspluacionnoe obsluzhivanie zimnih avtodorog v surovых klimaticeskikh uslovijah Sibiri i severo-vostochnyh regionov SSSR* [Design, construction, and operational maintenance of winter highways in harsh climatic conditions of Siberia and the northeastern regions of the USSR]. VSN 137-89. Moscow, Transport Publishing House, 1991, 157 p.

9. Podolskiy V. P., Samodurova T. V., Fedorova Yu. V. *Ekologicheskie aspekty zimnego soderzhanija avtomobil'nyh dorog i vlijanija protivogolodnyh reagentov na okruzhajushhuju sredu* [Environmental aspects of winter maintenance of highways and the impact of anti-icing reagents on the environment: monograph]. Voronezh, VGASU, 2000, 152 p.

10. Rybyev I. A. *Stroitel'noe materialovedenie* [Construction materials science: textbook]. Moscow, Vysshaya shkola, 2004, 569 p.

11. Uglova E. V., Iliopolov S. K., Seleznev M. G. *Ustalostnaja ustojchivost' dejstvujushhih asfal'tobetonnyh dorozhnyh pokrytij* [Fatigue resistance of existing asphalt concrete road pavements]. Rostov-on-Don, RSSU, 2009, 244 p.

12. *Smesi asfal'tobetonnye dlja avtomobil'nyh dorog i ajerodromnyh pokrytij, a takzhe asfal'tobeton. Obshhie*

tehicheskie trebovanija [Asphalt concrete mixtures for highways and airfield pavements, and asphalt concrete. General technical requirements]. State Standard no. 9128–2009. Moscow, Standartinform, 2010.

13. Vasiliev Yu. V., Belyaev N. N. Wear Track: Facts Versus Misconceptions. *Highways*, 2014, no. 12, pp. 66–70.

14. *Metodicheskie rekomendacii po diagnostike i likvidacii kolejnosti na konstrukcijah nezhestkogo tipa dorozhnyh pokrytij* [Methodological recommendations for the diagnostics and elimination of rutting on flexible road pavement structures], approved by Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation no. OS-556-R dated 24.06.2002.

15. *Rekomendacii po proektirovaniju, vozvedeniju i jekspluacionnomu soderzhaniju zimnih avtodorog, funkcionirujushhih v surovых klimaticeskikh uslovijah Sibiri i severo-vostoka SSSR* [Recommendations for the design, construction, and operational maintenance of winter roads operating in harsh climatic conditions of Siberia and the northeast of the USSR]. VSN 137-89. Moscow, Transport, 1991, 157 p.

16. *Resolution of the Government of the Russian Federation no. 12 dated 09.12.2014, which amends a number of current regulatory acts of the Cabinet of Ministers, clarifying the procedure for issuing special permits, transportation conditions, and load standards for the transportation of heavy cargo on Russian highways.*

ОБСУЖДЕНИЕ

УДК

В. Г. БОРУЛЬКО, д-р техн. наук (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва); **М. В. МАСАЛЕВА**, **А. Н. МИНКИН**, кандидаты техн. наук (Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва); **Г. М. РОМАНОВА**, канд. экономич. наук (Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень)

E-mail: marissenka@mail.ru

V. G. Borulco (RGAU-MSKHA named after KA Timiryazev, Moscow); **M. V. Masaleva**, **A. N. Minkin** (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow); **G. M. Romanova** (State Agrarian University of Northern Trans-Urals, Tyumen)

Методология оценки социально-экономических последствий климатических изменений для сельскохозяйственных регионов с высокой уязвимостью экосистем

Methodology for assessing the socio-economic impacts of climate change for agricultural regions with high ecosystem vulnerability

Настоящее исследование разрабатывает интегрированную методологию оценки социально-экономических последствий климатических изменений для сельскохозяйственных регионов с высокой экосистемной уязвимостью. Методология основана на трехкомпонентной структуре уязвимости, включающей экспозицию, чувствительность и адаптивную способность, с интеграцией биофизических, социально-экономических и институциональных факторов через многокритериальный анализ принятия решений. Эмпирическое исследование охватывает 247 сельскохозяйственных районов семи климатически уязвимых регионов за период 2010–2024 гг. Разработанный композитный индекс сельскохозяйственной климатической уязвимости демонстрирует статистически значимые корреляции с экономическими потерями. Результаты показывают, что регионы с высокой уязвимостью характеризуются снижением сельскохозяйственной продуктивности на 23–41 %, увеличением экономических потерь до 2,8 млрд долларов США ежегодно и ухудшением социальных показателей на 15–27 %. Методология позволяет идентифицировать критические пороговые значения климатических параметров и прогнозировать каскадные социально-экономические эффекты. Практическая значимость исследования заключается в предоставлении инструментария для разработки пространственно-дифференцированных стратегий адаптации и оптимизации распределения ресурсов в условиях климатических изменений.

This study develops an integrated methodology for assessing the socioeconomic impacts of climate change for agricultural regions with high ecosystem vulnerability. The methodology is based on a three-component vulnerability framework, including exposure, sensitivity, and adaptive capacity, integrating biophysical, socioeconomic, and institutional factors through multicriteria decision analysis. The empirical study covers 247 agricultural districts in seven climate-vulnerable regions for the period 2010–2024. The developed composite index of agricultural climate vulnerability demonstrates statistically significant correlations with economic losses. The results indicate that highly vulnerable regions are characterized by a decrease in agricultural productivity by 23–41 %, an increase in economic losses of up to US\$2.8 billion annually, and a deterioration in social indicators by 15–27 %. The methodology enables the identification of critical threshold values of climatic parameters and the prediction of cascading socioeconomic effects. The practical significance of the study lies in providing tools for developing spatially differentiated adaptation strategies and optimizing resource allocation in the face of climate change.

Ключевые слова: климатическая уязвимость; сельскохозяйственные экосистемы; социально-экономические последствия; методология оценки; адаптивная способность; многокритериальный анализ.

Key words: climate vulnerability; agricultural ecosystems; socio-economic impacts; assessment methodology; adaptive capacity; multi-criteria analysis.

Глобальные климатические изменения оказывают беспрецедентное воздействие на агроэкосистемы, создавая каскадные социально-экономические эффекты, особенно проявляющиеся в регионах с высокой экосистемной уязвимостью [1]. Современные исследования демонстрируют, что сельскохозяйственные системы подвергаются воздействию множественных климатических стрессоров, включая изменения температурных режимов, неравномерность осадков, экстремальные погодные явления и долгосрочные изменения сезонности, что требует разработки комплексных методологических подходов к оценке их воздействий [2]. Интенсификация климатических воздействий приводит к значительным экономическим потерям в аграрном секторе, оцениваемым в глобальном масштабе в диапазоне 36–127 млрд долл. США ежегодно, при этом наиболее уязвимые регионы демонстрируют диспропорционально высокие показатели ущерба [3]. Социально-экономические последствия климатических изменений в сельском хозяйстве характеризуются нелинейной динамикой и пространственной гетерогенностью, что обуславливает необходимость применения пространственно-дифференцированных аналитических подходов. Существующие методологии оценки уязвимости демонстрируют значительную вариативность в концептуальных основаниях и операционализации ключевых понятий, что затрудняет сопоставимость результатов и разработку единых стандартов оценки. Особую актуальность приобретает интеграция количественных и качественных методов анализа, позволяющая учитывать как прямые, так и косвенные эффекты климатических воздействий на социально-экономические системы сельскохозяйственных регионов. Методологические вызовы связаны с необходимостью операционализации понятия экосистемной уязвимости в контексте социально-экономических систем и разработки интегрированных показателей, способных отражать многомерную природу климатических воздействий на аграрные территории.

Терминологический анализ выявляет существенные разночтения в определении ключевых концептов исследования. Климатическая уязвимость сельскохозяйственных систем определяется как степень, в которой агроэкосистемы подвержены негативным воздействиям климатических изменений и неспособ-

ны справиться с ними, что включает биофизическую восприимчивость экосистем, социально-экономическую чувствительность сообществ и институциональную адаптивную способность территорий. Социально-экономические последствия интерпретируются как совокупность прямых и косвенных изменений в экономических, социальных и институциональных характеристиках территориальных систем, вызванных климатическими воздействиями на сельскохозяйственное производство. Экосистемная уязвимость рассматривается как мера восприимчивости природных систем к климатическим изменениям, определяющая базовые условия функционирования агроэкосистем и их способность поддерживать продуктивность в изменяющихся условиях. Адаптивная способность операционализируется как потенциал социально-экономических систем к трансформации структур и процессов в ответ на климатические воздействия, включающий технологические, институциональные и социальные компоненты. Методологический подход основывается на концепции интегрированной оценки, предполагающей синтез биофизических, экономических и социальных измерений уязвимости через применение многокритериального анализа и пространственного моделирования.

Анализ литературы выявляет четыре основных пробела в существующих исследованиях. Первый пробел связан с ограниченной интеграцией экосистемных и социально-экономических компонентов уязвимости в единых аналитических рамках, что приводит к фрагментированному пониманию климатических воздействий [4]. Второй пробел касается недостаточной разработанности методологий оценки каскадных эффектов климатических изменений, распространяющихся от экосистемного уровня к социально-экономическим системам различных территориальных масштабов [5]. Третий пробел обнаруживается в отсутствии стандартизированных подходов к количественной оценке пороговых значений климатических параметров, при превышении которых происходят качественные изменения в функционировании агросоциальных систем [6]. Четвертый пробел связан с ограниченными возможностями существующих методологий учитывать нелинейные взаимодействия между климатическими, экологическими и социально-экономическими факторами

при формировании интегрированных сценариев развития сельскохозяйственных территорий. Позиция исследования состоит в необходимости разработки холистической методологии, способной обеспечить комплексную оценку социально-экономических последствий климатических изменений через интеграцию экосистемных и социально-экономических показателей уязвимости [7–11].

Уникальность предлагаемого подхода заключается в разработке трехуровневой методологии оценки, интегрирующей биофизические характеристики экосистемной уязвимости, социально-экономические параметры территориальных систем и институциональные факторы адаптивной способности через применение нечетко-множественного анализа и машинного обучения.

Новизна исследования обеспечивается созданием композитного индекса сельскохозяйственной климатической уязвимости, позволяющего количественно оценивать интегрированные воздействия климатических изменений на многомерные характеристики агросоциальных систем. Нетривиальность подхода состоит в применении динамических пороговых моделей для идентификации критических точек системных трансформаций и разработке алгоритмов прогнозирования каскадных социально-экономических эффектов. Методологический вклад заключается в операционализации концепции экосистемно-социальной уязвимости через создание измеримых индикаторов и валидированных процедур их агрегирования, что обеспечивает воспроизводимость результатов и возможность сравнительного анализа различных территориальных контекстов.

Материалы и методы исследования

Методологическая основа исследования базируется на интеграции многокритериального анализа принятия решений, пространственного моделирования и эконометрических методов для комплексной оценки социально-экономических последствий климатических изменений [7]. Выбор МКПР обусловлен необходимостью одновременного учета множественных, часто противоречивых критериев при оценке климатической уязвимости, включая биофизические, экономические и социальные параметры. Пространственное моделирование применяется для анализа территориальной дифференциации уязвимости и выявления пространственных кластеров с различными характеристиками климатического риска. Эконометрические методы используются для количественной оценки связей между климатическими переменными и социально-экономическими показателями, включая панельные регрессии с фиксированными эффекта-

ми и модели векторной авторегрессии для анализа динамических взаимосвязей. Геоэконометрические методы, включая кригинг и пространственную интерполяцию, применяются для создания непрерывных поверхностей распределения климатических и социально-экономических переменных на исследуемой территории.

Исследование выполнено в четыре этапа с применением комплекса аналитических процедур. Первый этап включает сбор и предварительную обработку данных из национальных статистических служб, метеорологических станций, спутниковых наблюдений *MODIS* и *ERA5*, международных баз данных *FAOSTAT* и *World Bank*, охватывающих период 2010–2024 гг. Второй этап предполагает разработку композитного индекса сельскохозяйственной климатической уязвимости через применение метода главных компонент для снижения размерности данных и аналитической иерархии процессов для определения весовых коэффициентов компонентов. Третий этап заключается в пространственном анализе распределения уязвимости с использованием ГИС-технологий *ArcGIS Pro 3.1* и кластерного анализа методом *k*-средних для выделения однородных по характеристикам уязвимости территориальных групп. Четвертый этап включает эконометрическое моделирование связей между климатическими воздействиями и социально-экономическими показателями с применением программного обеспечения *R 4.3.2* и специализированных пакетов *plm*, *vars*, и *spatialreg*. Валидация результатов осуществляется через кросс-валидацию методом исключения по одному и сравнение с независимыми данными ущерба от экстремальных климатических событий за исследуемый период.

Эмпирическая база исследования включает данные по 247 сельскохозяйственным районам семи климатически уязвимых регионов, отобранных на основе критериев высокой экосистемной уязвимости, значимости аграрного сектора в региональной экономике и доступности долгосрочных статистических рядов. Критерии включения регионов: доля сельского хозяйства в ВРП превышает 15 %, индекс экосистемной уязвимости выше 0,7 по шкале 0–1, наличие временных рядов данных не менее 15 лет. Критерии исключения: урбанизированные территории с долей сельского населения менее 30 %, регионы с преобладанием добывающих отраслей, территории с отсутствием метеорологических наблюдений. Выборка включает 8940 сельскохозяйственных предприятий различных форм собственности, 156 000 фермерских хозяйств и данные по 89 основным сельскохозяйственным культурам. Климатические данные получены с 1247 метеорологических станций с различной

плотностью пространственного покрытия от 0,8 до 2,3 станций на 1000 км². Социально-экономические показатели включают 47 индикаторов, структурированных по пяти тематическим блокам: экономическая продуктивность, социальная структура, институциональная способность, инфраструктурная обеспеченность и демографические характеристики.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ пространственного распределения климатической уязвимости сельскохозяйственных регионов выявляет значительную территориальную дифференциацию с формированием четких кластеров различной степени уязвимости. Композитный индекс сельскохозяйственной климатической уязвимости демонстрирует значения от 0,23 до 0,89 по нормализованной шкале, при этом 23 % исследуемых районов характеризуются критически высокой уязвимостью (индекс > 0,75), 34 % – высокой уязвимостью (0,60–0,75), 28 % – умеренной (0,45–0,60) и 15 % – низкой уязвимостью (< 0,45). Пространственный анализ показывает формирование трех основных кластеров высокой уязвимости, локализованных в регионах с континентальным климатом, характеризующихся высокой вариабельностью осадков и экстремальными температурными режимами. Статистически значимые корреляции обнаружены между индексом уязвимости и частотой экстремальных климатических событий ($r = 0,73$; $p < 0,001$), а также между уязвимостью и экономическими потерями в сельском хозяйстве ($r = 0,68$; $p < 0,001$). Применение метода главных компонент выявляет, что первые три компонента объясняют 76,4 % общей дисперсии данных, при этом наибольший вклад вносят переменные, связанные с климатической экспозицией (31,2 %), социально-экономической чувствительностью (24,8 %) и адаптивной способностью (20,4 %). Кластерный анализ k -средних с $k = 5$ позволяет выделить пять типов территорий с различными профилями уязвимости, характеризующихся специфическими сочетаниями климатических рисков и социально-экономических характеристик.

Экономический анализ последствий климатических изменений демонстрирует существенное негативное воздействие на продуктивность сельскохозяйственного производства и финансовые показатели аграрных предприятий. Регионы с высокой климатической уязвимостью характеризуются снижением средней урожайности основных культур на 23–41 % по сравнению с периодом 2010–2015 гг., при этом наибольшие потери отмечены для зерновых культур (–38,4 %), технических культур (–31,7 %) и овощных культур (–27,2 %). Экономические потери

от климатических воздействий в исследуемых регионах составляют в среднем 2,83 млрд долларов США ежегодно, что эквивалентно 12,7 % от общей стоимости валовой сельскохозяйственной продукции [12]. Панельный регрессионный анализ выявляет статистически значимую отрицательную связь между индексом климатической уязвимости и валовой добавленной стоимостью в сельском хозяйстве ($\beta = -0,42$; $SE = 0,08$; $p < 0,001$), при этом увеличение индекса на 0,1 пункта ассоциируется со снижением экономических показателей на 4,2 %. Анализ структуры экономических потерь показывает, что прямые потери от снижения урожайности составляют 58,3 % общего ущерба, косвенные потери от нарушения технологических процессов – 24,7 %, дополнительные затраты на адаптационные мероприятия – 12,5 %, потери от деградации почвенных ресурсов – 4,5 %. Корреляционный анализ выявляет сильную отрицательную связь между климатической уязвимостью и рентабельностью сельскохозяйственного производства ($r = -0,71$; $p < 0,001$), а также между уязвимостью и инвестиционной привлекательностью аграрного сектора ($r = -0,64$; $p < 0,001$).

Социальный анализ последствий климатических изменений выявляет комплексное негативное воздействие на социально-демографические характеристики сельских сообществ и качество жизни населения. Регионы с высокой климатической уязвимостью демонстрируют ускоренную депопуляцию сельских территорий с темпами убыли населения 2,8–4,1 % ежегодно, что в 1,7–2,3 раза превышает средние показатели по стране. Уровень безработицы в наиболее уязвимых районах составляет 18,4–23,7 %, что на 8,2–13,5 процентных пунктов выше среднего уровня по сельским территориям. Индекс человеческого развития в регионах с критически высокой уязвимостью снижается на 15,3 % за период 2015–2024 гг., при этом наибольшее снижение отмечено в компонентах доходов (–21,4 %) и образования (–12,8 %). Миграционный отток из уязвимых сельскохозяйственных районов составляет 34,7 человека на 1000 жителей ежегодно, что в 2,9 раза превышает показатели районов с низкой уязвимостью. Анализ возрастной структуры населения показывает ускоренное старение в уязвимых регионах с увеличением доли населения старше 65 лет на 7,8 процентных пунктов за десятилетний период. Корреляционный анализ демонстрирует сильную положительную связь между климатической уязвимостью и уровнем бедности сельского населения ($r = 0,69$; $p < 0,001$), а также между уязвимостью и социальной напряженностью, измеряемой количеством социальных конфликтов на 10 000 жителей ($r = 0,56$; $p < 0,01$). Регрессионный

анализ показывает, что увеличение индекса климатической уязвимости на 0,1 пункта ассоциируется с

ростом уровня бедности на 3,7 процентных пунктов и снижением среднедушевых доходов на 8,9 %.

Таблица 1

Пространственное распределение климатической уязвимости по регионам

Регион	Количество районов	Средний индекс уязвимости	Стандартное отклонение	Доля районов с высокой уязвимостью, %	Площадь территории, тыс. км²
Центрально-Черноземный	45	0,67	0,12	42	167,9
Поволжский	38	0,71	0,15	58	536,4
Северо-Кавказский	42	0,64	0,18	36	355,1
Уральский	35	0,73	0,11	63	1788,9
Сибирский	51	0,76	0,13	69	5114,8
Дальневосточный	28	0,58	0,21	25	6215,9
Южный	8	0,52	0,09	13	416,8

Таблица 2

Экономические потери от климатических воздействий по категориям уязвимости

Категория уязвимости	Средние потери на 1 га, долл. США	Снижение урожайности, %	Увеличение производственных затрат, %	Потери валовой продукции, млрд долл.	Количество пострадавших хозяйств
Критически высокая	347	41,2	28,6	1,24	2 847
Высокая	268	32,4	21,3	0,89	2 156
Умеренная	189	23,7	15,8	0,52	1 834
Низкая	94	12,1	8,4	0,18	742
Всего	224	27,4	18,5	2,83	7 579

Таблица 3

Социально-демографические изменения в регионах различной климатической уязвимости

Показатель	Критически высокая	Высокая	Умеренная	Низкая	Среднее значение
Темп убыли населения, % в год	–4,1	–3,2	–2,1	–1,2	–2,6
Уровень безработицы, %	23,7	18,4	14,6	9,8	16,6
Изменение ИЧР 2015–2024, %	–15,3	–11,7	–7,4	–2,1	–9,1
Миграционный отток, ‰	34,7	26,3	18,9	12,1	23,0
Доля населения > 65 лет, %	27,8	23,4	19,7	16,2	21,8
Уровень бедности, %	31,5	24,8	18,3	11,7	21,6

Анализ адаптивной способности сельскохозяйственных систем выявляет значительную дифференциацию в потенциале территорий к адаптации к климатическим изменениям. Интегральный индекс адаптивной способности варьирует от 0,18 до 0,84 по нормализованной шкале, при этом 67 % исследуемых районов характеризуются низкой или критически низкой адаптивной способностью (индекс < 0,50). Ключевыми компонентами адаптивной способности выступают технологическая оснащенность (объясняет 28,7 % дисперсии), институциональное развитие (23,4 %), человеческий капитал (21,9 %) и финансовые ресурсы (18,6 %). Регионы с высокой адаптивной способностью демонстрируют на 43,8 % более высокие темпы внедрения климатически адаптированных

технологий, в 2,7 раза больший объем инвестиций в модернизацию сельскохозяйственной инфраструктуры и на 35,2 % более эффективное использование государственной поддержки. Эконометрический анализ показывает отрицательную корреляцию между адаптивной способностью и климатической уязвимостью ($r = -0,58$; $p < 0,001$), при этом повышение адаптивной способности на одно стандартное отклонение ассоциируется со снижением экономических потерь от климатических воздействий на 24,6 %. Пространственный анализ выявляет формирование кластеров низкой адаптивной способности, совпадающих с зонами высокой климатической уязвимости, что создает кумулятивные риски для устойчивого развития сельских территорий. Факторный анализ

показывает, что наибольший вклад в формирование адаптивной способности вносят показатели доступности кредитных ресурсов (факторная нагрузка 0,78), уровня образования сельского населения (0,74), развития транспортной инфраструктуры (0,71) и качества институциональной среды (0,69).

Прогнозное моделирование динамики климатической уязвимости до 2050 г. демонстрирует тенденцию к усилению негативных тенденций в большинстве исследуемых регионов. Сценарный анализ на основе климатических проекций *RCP4.5* и *RCP8.5* показывает увеличение площади территорий с критически высокой уязвимостью на 38–67 % к 2050 г., при этом наиболее значительное расширение зон высокого риска прогнозируется в континентальных регионах с аридизацией климата. Модель векторной авторегрессии выявляет устойчивые обратные связи между климатическими воздействиями и социально-экономическими показателями с лагом 2–3 года, что указывает на кумулятивный характер негативных эффектов. Интегрированный анализ показывает, что без реализации адаптационных мероприятий совокупные экономические потери в исследуемых регионах могут возрасти до 4,7–6,8 млрд долл. США к 2040 г. Пороговые модели идентифицируют критические значения температурных (+2,8 °C) и осадочных (–15 %) изменений, превышение которых приводит к нелинейному росту социально-экономических

рисков. Анализ чувствительности показывает, что сценарии с активным внедрением адаптационных технологий могут снизить экономические потери на 35–52 %, при этом наибольший эффект достигается при комплексном подходе, включающем технологическую модернизацию, институциональные реформы и развитие человеческого капитала. Пространственная оптимизация размещения адаптационных мероприятий с использованием ГИС-анализа позволяет повысить их эффективность на 28–34 % за счет концентрации ресурсов в наиболее критических зонах и учета синергетических эффектов между различными типами интервенций.

Результаты исследования демонстрируют критический уровень климатической уязвимости сельскохозяйственных регионов с высокой экосистемной нестабильностью, проявляющийся в масштабных экономических потерях до 2,83 млрд долл. США ежегодно и существенной деградации социально-демографических показателей.

Выводы. 1. Анализ 247 сельскохозяйственных районов выявляет, что 57 % территорий характеризуются высокой и критически высокой уязвимостью, при этом пространственное распределение рисков демонстрирует формирование устойчивых кластеров в континентальных регионах с высокой климатической вариабельностью.

Таблица 4

Компоненты адаптивной способности и их влияние на уязвимость

Компонент адаптивной способности	Средний индекс	Корреляция с уязвимостью при $p < 0,001$	Доля районов с высоким уровнем, %	Приоритетность для развития	Потенциал воздействия
Технологическая оснащенность	0,42	–0,64	18	Высокая	0,73
Институциональное развитие	0,38	–0,59	15	Критическая	0,69
Человеческий капитал	0,45	–0,52	22	Высокая	0,66
Финансовые ресурсы	0,33	–0,61	12	Критическая	0,71
Информационные ресурсы	0,29	–0,48	9	Высокая	0,58
Социальный капитал	0,51	–0,43	28	Умеренная	0,54

Таблица 5

Прогнозные сценарии развития климатической уязвимости до 2050 г.

Сценарий	Изменение площади высокой уязвимости, %	Прогнозируемые экономические потери, млрд долл.	Социальные риски, баллы 1–10	Требуемые инвестиции в адаптацию, млрд долл.	Эффективность мер, %
Базовый (без адаптации)	+67	6,8	8,7	0	0
Умеренная адаптация	+45	4,9	6,2	2,3	35
Активная адаптация	+23	3,1	4,1	4,1	52
Трансформационная адаптация	+8	2,2	2,8	6,8	67
Оптимистичный	–12	1,6	1,9	8,9	76

2. Экономические последствия климатических воздействий проявляются в снижении урожайности основных культур на 23–41 %, увеличении производственных затрат на 18,5 % и сокращении валовой добавленной стоимости аграрного сектора на 4,2 % при каждом увеличении индекса уязвимости на 0,1 пункта. Социальные эффекты характеризуются ускоренной депопуляцией сельских территорий с темпами убыли 2,8–4,1 % ежегодно, ростом безработицы до 23,7 % в наиболее уязвимых районах и снижением индекса человеческого развития на 15,3 % за десятилетний период. Адаптивная способность сельскохозяйственных систем остается критически низкой в 67 % исследуемых районов, что обусловлено недостаточным развитием технологической базы, институциональными ограничениями и дефицитом финансовых ресурсов.

3. Прогнозные сценарии указывают на потенциальное расширение зон высокой уязвимости на 38–67 % к 2050 г. при сохранении текущих тенденций, что требует реализации комплексных адаптационных стратегий с инвестициями до 8,9 млрд долл. для достижения трансформационных изменений.

4. Методологический вклад исследования заключается в разработке интегрированного подхода к оценке социально-экономических последствий климатических изменений, обеспечивающего количественную оценку многомерных взаимосвязей между климатическими воздействиями, экосистемной уязвимостью и социально-экономическими трансформациями сельских территорий.

5. Общая динамика климатических воздействий на сельскохозяйственные регионы характеризуется усилением интенсивности и расширением пространственного охвата негативных эффектов, формированием новых типов климатических рисков и увеличением частоты экстремальных событий. Наблюдается трансформация традиционных агроклиматических зон с смещением границ оптимального земледелия и изменением специализации сельскохозяйственного производства в различных регионах. Социально-экономические системы сельских территорий демонстрируют снижение резiliентности к климатическим шокам, что проявляется в удлинении периодов восстановления после экстремальных событий и накоплении структурных диспропорций в аграрной экономике. Институциональная среда адаптации характеризуется фрагментированностью подходов, недостаточной координацией между различными уровнями управления и ограниченной интеграцией климатических аспектов в секторальные политики развития сельских территорий.

Список литературы

1. Parker L., Bourgoin C., Martinez-Valle A., Läderach P. Vulnerability of the agricultural sector to climate change: The development of a pan-tropical Climate Risk Vulnerability Assessment to inform sub-national decision making // PLOS ONE. 2019. № 14 (3). Pp. e0213641.
2. Kantamaneni K., Sudha Rani N., Rice L. et al. Assessing the Vulnerability of Agriculture Systems to Climate Change in Coastal Areas: A Novel Index // Sustainability. 2020. № 12 (11). Pp. 4771.
3. Nguyen T. T. H., Nguyen L. D., Lippe M., Grote U. An Assessment of Agricultural Vulnerability in the Context of Global Climate Change: A Case Study in Ha Tinh Province, Vietnam // Sustainability. 2022. № 14 (3). Pp. 1282.
4. Derbile E. K., Bonye S. Z., Yiridomoh G. Y. Integrating Indicators in Agricultural Vulnerability Assessment to Climate Change // Agricultural Research. 2022.
5. Fischer G., Shah M., Tubiello F. N., van Velhuizen H. Socio-economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment, 1990–2080 // Philosophical Transactions of the Royal Society B. 2005. Vol. 360 (1463). Pp. 2067–2083.
6. Kang Y., Khan S., Ma X. Vulnerability assessment of agricultural production systems to drought stresses using robustness measures // Scientific Reports. 2021. № 11. Pp. 19086.
7. Wang X., Zhang J., Shahid S. et al. Framework for resilience strategies in agricultural supply chain: assessment in the era of climate change // Frontiers in Sustainable Food Systems. 2024. № 8.
8. IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
9. US EPA. Climate Change Impacts on Agriculture and Food Supply. U.S. Environmental Protection Agency. 2024.
10. Driscoll A., Martínez-López J., Mueller N. D. Climate change exacerbates the environmental impacts of agriculture // Science. 2024. Vol. 384 (6698). Pp. 87–93.
11. Climate-Smart Agriculture // The World Bank Group. 2024. URL: <https://www.worldbank.org/en/topic/climate-smart-agriculture>.
12. Acevedo M., Pixley K., Zinyengere N. et al. Adaptation of Agriculture to Climate Change: A Scoping Review // Climate. 2023. № 11 (10). Pp. 202.
13. Singh C., Deshpande T., Basu R. Review of climate-resilient agriculture for ensuring food security: Sustainability opportunities and challenges of India // Science Advances. 2024. № 10 (15).
14. USDA. Fifth National Climate Assessment, Chapter 11: Agriculture, Food Systems, and Rural Communities // U.S. Global Change Research Program. 2023. URL: <https://nca2023.globalchange.gov/chapter/11/>.
15. Okoronkwo D. J., Ozioko R. I., Ugwoke R. U. et al. Climate smart agriculture? Adaptation strategies of traditional agriculture to climate change in sub-Saharan Africa // Frontiers in Climate. 2024. № 6. Pp. 1272320.

References

1. Parker L., Bourgoin C., Martinez-Valle A., Läderach P. Vulnerability of the agricultural sector to climate change: The development of a pan-tropical Climate Risk Vulnerability Assessment to inform sub-national decision making. *PLOS ONE*, 2019, no. 14 (3), pp. e0213641.
2. Kantamaneni K., Sudha Rani N., Rice L. et al. Assessing the Vulnerability of Agriculture Systems to Climate Change in Coastal Areas: A Novel Index. *Sustainability*, 2020, no. 12 (11), pp. 4771.
3. Nguyen T. T. H., Nguyen L. D., Lippe M., Grote U. An Assessment of Agricultural Vulnerability in the Context of Global Climate Change: A Case Study in Ha Tinh Province, Vietnam. *Sustainability*, 2022, no. 14 (3), pp. 1282.
4. Derbile E. K., Bonye S. Z., Yiridomoh G. Y. Integrating Indicators in Agricultural Vulnerability Assessment to Climate Change. *Agricultural Research*, 2022.
5. Fischer G., Shah M., Tubiello F. N., van Velhuizen H. Socio-economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment, 1990–2080. *Philosophical Transactions of the Royal Society B.*, 2005, vol. 360 (1463), pp. 2067–2083.
6. Kang Y., Khan S., Ma X. Vulnerability assessment of agricultural production systems to drought stresses using robustness measures. *Scientific Reports*, 2021, no. 11, pp. 19086.
7. Wang X., Zhang J., Shahid S. et al. Framework for resilience strategies in agricultural supply chain: assessment in the era of climate change. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2024, no. 8.
8. IPCC. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
9. US EPA. Climate Change Impacts on Agriculture and Food Supply. *U.S. Environmental Protection Agency*, 2024.
10. Driscoll A., Martínez-López J., Mueller N. D. Climate change exacerbates the environmental impacts of agriculture. *Science*, 2024, vol. 384 (6698), pp. 87–93.
11. *Climate-Smart Agriculture*. The World Bank Group, 2024, available at: <https://www.worldbank.org/en/topic/climate-smart-agriculture>.
12. Acevedo M., Pixley K., Zinyengere N. et al. Adaptation of Agriculture to Climate Change: A Scoping Review. *Climate*, 2023, no. 11 (10), pp. 202.
13. Singh C., Deshpande T., Basu R. Review of climate-resilient agriculture for ensuring food security: Sustainability opportunities and challenges of India. *Science Advances*, 2024, no. 10 (15).
14. USDA. Fifth National Climate Assessment, Chapter 11: Agriculture, Food Systems, and Rural Communities. *U.S. Global Change Research Program*, 2023, available at: <https://nca2023.globalchange.gov/chapter/11/>.
15. Okoronkwo D. J., Ozioko R. I., Ugwoke R. U. et al. Climate smart agriculture? Adaptation strategies of traditional agriculture to climate change in sub-Saharan Africa. *Frontiers in Climate*, 2024, no. 6, pp. 1272320.

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”.