

НОВОСТИ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

NEWS OF SCIENCE AND TECHNOLOGIES

**ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭКОНОМИЧЕСКИХ КАТЕГОРИЙ В НАУЧНОЙ,
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ СФЕРАХ**

FORMATION OF A SYSTEM OF ECONOMIC CATEGORIES IN THE SCIENTIFIC,
SCIENTIFIC-TECHNICAL, AND INNOVATION SPHERES

**ПОВЫШЕНИЕ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ
ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА
ОТ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ**

IMPROVING THE ERGONOMIC CHARACTERISTICS
OF THE PRODUCTION ENVIRONMENT OF TELECOMMUNICATION SYSTEMS
THROUGH THE USE OF ELECTROSTATIC AIR PURIFICATION FROM HIGHLY DISPERSED
PARTICLES

**БИОТЕХНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ
МЕЖДУ КЛИНИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ГОМЕОСТАЗА
И ПАРАМЕТРАМИ КИСЛОРОДНОЙ ТЕРАПИИ**

A BIOTECHNICAL MODEL WITH FEEDBACK
BETWEEN CLINICAL HOMEOSTASIS PARAMETERS AND OXYGEN THERAPY
PARAMETERS



В соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 9 февраля 2026 г. № 30 журнал входит в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по экономическим и техническим (машиностроение и машиноведение; приборостроение, метрология и информационно-измерительные системы) наукам.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ И РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ И РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА

Коржицкий Денис Леонидович,
канд. экон. наук, Председатель ГКНТ

ЗАМЕСТИТЕЛИ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ

Бойков Владимир Петрович,
д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Тракторы» БНТУ

Суша Владимир Александрович,
канд. воен. наук, доцент, директор ГУ «БелИСА», главный редактор

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

Аваков Сергей Мирзоевич,
д-р техн. наук, доцент, генеральный директор ОАО «Планар»

Ботеновская Екатерина Сергеевна,
канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры комплексного изучения развития КНР факультета международных отношений БГУ

Володько Владимир Фёдорович,
д-р пед. наук, профессор, профессор кафедры «Менеджмент» БНТУ

Ганэ Вадим Арведович,
д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник НПООО «ОКБ ТСП»

Данильченко Алексей Васильевич,
д-р экон. наук, профессор, декан факультета маркетинга, менеджмента, предпринимательства БНТУ

Дерновой Владимир Михайлович,
канд. техн. наук, старший научный сотрудник, главный эксперт, начальник научно-аналитического отдела НПООО «ОКБ ТСП»,
председатель ревизионной комиссии НПООО «ОКБ ТСП», заместитель главного редактора

Кизеева Елена Сергеевна,
канд. техн. наук, научный секретарь ГУ «БелИСА», заместитель главного редактора

Константинов Валерий Михайлович,
д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Материаловедение в машиностроении» БНТУ

Коробкин Владимир Андреевич,
д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Тракторы» БНТУ

Косовский Андрей Аркадьевич,
канд. экон. наук, доцент, генеральный директор ОАО «НПО Центр»

Листопад Николай Измаильевич,
д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой информационных радиотехнологий УО «БГУИР»

Новикова Ирина Васильевна,
д-р экон. наук, профессор, зав. кафедрой менеджмента, технологий бизнеса и устойчивого развития УО «БГТУ»

Судиловская Елена Владимировна,
зав. сектором ГУ «БелИСА», ответственный секретарь

Тарасёнок Александр Иванович,
д-р экон. наук, профессор, профессор кафедры «Межкультурная профессиональная коммуникация» БНТУ

Тумилович Мирослав Викторович,
д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры электронной техники и технологии УО «БГУИР»

Щербаков Сергей Сергеевич,
д-р физ.-мат. наук, профессор, заместитель Председателя Президиума НАН Беларуси

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА

Баханович Александр Геннадьевич,
д-р техн. наук, доцент, первый заместитель Министра образования Республики Беларусь

Ерофеев Михаил Николаевич,
д-р техн. наук, профессор, ВРИО директора ФГБН «Институт машиноведения им. А. А. Благонравова Российской академии наук»

Ильина Ирина Евгеньевна,
д-р экон. наук, доцент, директор ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт экономики,
политики и права в научно-технической сфере»

Чижик Сергей Антонович,
академик НАН Беларуси, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой микро- и нанотехники БНТУ

№ 2 (77) 2026 г.

Издается с декабря 2004 г.

Зарегистрирован
в Министерстве информации
Республики Беларусь,
свидетельство о регистрации
№ 576 от 24.07.2009.

Учредитель:

Государственное учреждение
«Белорусский институт системного анализа
и информационного обеспечения
научно-технической сферы»
(ГУ «БелИСА»)

Издатель:

ГУ «БелИСА»
Свидетельство о регистрации
в Министерстве информации
Республики Беларусь
№ 1/307 от 22.04.2014.

Адрес редакции:

пр. Победителей, 7,
220004, г. Минск
ГУ «БелИСА»
(журнал «Новости науки и технологий»)
Тел.: (+375 17) 203-41-23,
(+375 17) 306-09-46

E-mail: sudilovskaya@belisa.org.by,
kizeyeva@belisa.org.by
http://www.belisa.org.by

Дизайн и компьютерная верстка:

О. М. Сенкевич.

Издание распространяется:

1. По подписке через редакцию, а также через РУП «Белпочта» (цена номера — 27,00 руб. (с НДС)).
2. По целевой адресной рассылке в органы государственного управления, организации и предприятия научно-технической сферы.
3. На международных и республиканских выставках, конференциях, семинарах.

Подписные индексы:

002802 — для предприятий и организаций
00280 — для индивидуальных подписчиков

© «Новости науки и технологий»

Публикуемые материалы отражают мнение их авторов. Редакция не несет ответственности за содержание рекламных материалов. При перепечатке публикаций ссылка на журнал обязательна. Все упомянутые в материалах журнала наименования продуктов и товарные знаки являются собственностью их владельцев. Научные публикации рецензируются.

Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Печать цифровая.

Усл. печ. л. 7,91. Уч.-изд. л. 6,34.

Гарнитура Minion.

Подписано в печать 24.06.2026.

Тираж 100 экз. Заказ № 11.

Отпечатано в издательско-полиграфическом отделе ГУ «БелИСА».

Лиц. в ЕРЛ 3820000018831 от 14.09.2018.

В НОМЕРЕ:

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭКОНОМИЧЕСКИХ КАТЕГОРИЙ В НАУЧНОЙ, НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ СФЕРАХ

А. А. Косовский, Д. Н. Скрыган

FORMATION OF A SYSTEM OF ECONOMIC CATEGORIES IN THE SCIENTIFIC, SCIENTIFIC-TECHNICAL AND INNOVATION SPHERES 3

A. Kosovskiy, D. Skrygan

ПОВЫШЕНИЕ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ

П. И. Балтрукович, Л. П. Пилиневич, Н. В. Русина

IMPROVING THE ERGONOMIC CHARACTERISTICS OF THE PRODUCTION ENVIRONMENT OF TELECOMMUNICATION SYSTEMS THROUGH THE USE OF ELECTROSTATIC AIR PURIFICATION FROM HIGHLY DISPERSED PARTICLES 10

P. Baltrukovich, L. Pilinevich, N. Rusina

БИОТЕХНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ МЕЖДУ КЛИНИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ГОМЕОСТАЗА И ПАРАМЕТРАМИ КИСЛОРОДНОЙ ТЕРАПИИ

О. Б. Зельманский

A BIOTECHNICAL MODEL WITH FEEDBACK BETWEEN CLINICAL HOMEOSTASIS PARAMETERS AND OXYGEN THERAPY PARAMETERS 14

O. Zelmanski

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ В ПОРОШКОВОМ СЛОЕ ПРИ 3D-ПЕЧАТИ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ

А. Ф. Ильющенко, А. И. Лецко, Т. А. Николайчук

INVESTIGATION OF THERMAL INTERACTION OF METALLIC PARTICLES IN A POWDER BED DURING 3D PRINTING BY SELECTIVE LASER MELTING 24

A. Ilyushchanka, A. Letsko, T. Nikolaychuk

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ ЛЕЗВИЙНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

О. Н. Шишова

MULTICRITERIAL OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF FORMING HOLES WITH A BLADED TOOL..... 34

O. Shyshova

АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ГОТОВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ К УЧАСТИЮ В МЕЖОРГАНИЗАЦИОННОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ

С. А. Грицевич

APPROBATION OF THE METHODOLOGY FOR A COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE READINESS OF LIGHT INDUSTRY ENTERPRISES OF THE REPUBLIC OF BELARUS TO PARTICIPATE IN INTER-ORGANIZATIONAL INTERACTION 40

S. Hrytsevich

ВОЗВРАТНЫЙ МЕХАНИЗМ ЧАСТНО-ГОСУДАРСТВЕННОГО ПАРТНЕРСТВА В СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЕ НА ПРИМЕРЕ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ КОМПАНИИ

О. Ю. Лукашкова, М. К. Жудро

THE RETURN CODE OF PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP IN THE SOCIAL SPHERE: THE EXAMPLE OF A TRANSPORT AND LOGISTICS COMPANY 50

O. Lukashkova, M. Zhudro

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМАТИКИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

Хо Чаоцзе

ANALYSIS OF ISSUES OF INNOVATIVE DEVELOPMENT THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA 54

Huo Chaojie

В ПОМОЩЬ УЧЕНЫМ И РАЗРАБОТЧИКАМ

МИР ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ: РОЛЬ И ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЭКСПЕРТОВ

А. М. Николайчук, Е. П. Соломко, Е. М. Сивец

THE WORLD OF STATE EXPERTISE: THE ROLE AND RESPONSIBILITIES OF EXPERTS..... 61

A. Nikolaychuk, E. Solomko, E. Sivets

НА ЗАМЕТКУ

Правила для авторов..... 68

УДК 330.1:001.895

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭКОНОМИЧЕСКИХ КАТЕГОРИЙ В НАУЧНОЙ, НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ СФЕРАХ

FORMATION OF A SYSTEM OF ECONOMIC CATEGORIES IN THE SCIENTIFIC, SCIENTIFIC-TECHNICAL AND INNOVATION SPHERES

А. А. Косовский,

генеральный директор ОАО «НПО Центр», канд. экон. наук, доцент,
г. Минск, Республика Беларусь

Д. Н. Скрыган,

начальник управления цифровизации и инновационного развития
Аппарата Совета Министров Республики Беларусь,
г. Минск, Республика Беларусь

A. Kosovski,

General Director of NPO Center JSC, PhD in Economics, Associate Professor,
Minsk, Republic of Belarus

D. Skrygan,

Head of the Digitalization and Innovative Development Department
of the Executive Office of the Council of Ministers of the Republic of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus

Дата поступления в редакцию — 29.04.2026.

В статье обосновывается формирование системы экономических категорий в научной, научно-технической и инновационной сферах, включающих понятия наукоемких инноваций, научно-инновационной деятельности и научно-инновационной сферы. Предложенная система позволяет перейти от регулирования создания инноваций вообще к концентрации ресурсов на стимулировании отечественных наукоемких инноваций как к главному фактору устойчивого инновационного развития экономики Республики Беларусь.

This article substantiates the development of a system of economic categories in the scientific, scientific-technical, and innovation spheres, including the concepts of knowledge-intensive innovation, scientific-innovative activity, and the scientific-innovative sphere. The proposed system allows moving from regulating innovation in general to concentrating resources on stimulating domestic knowledge-intensive innovation as the main factor in the sustainable innovative development of the Belarusian economy.

Ключевые слова: наукоемкая инновация, научно-инновационная деятельность, научно-инновационная сфера.

Keywords: knowledge-intensive innovation, scientific and innovative activity, scientific and innovative sphere.

Среди исследователей-экономистов, занимающихся вопросами научно-технического и инновационного развития, существует устойчивая традиция различения изобретения и инновации. Еще Й. Шумпетер указывал, что изобретение не подразумевает инновации и что именно инновации обеспечивают капитализм его динамическими элементами [4, с. 171]. Однако изобретения перестали быть в центре внимания экономистов, а приоритет стал отдаваться инновационной деятельности. Многие известные ученые и изобретатели указывают на то, что идеи их открытий «буквально витали в воздухе», то есть на феномен множественных открытий [7, с. 356–357]. Из этого следует, что, если бы не они сделали это открытие или изобретение, его обязательно сделал бы кто-то другой, поэтому стала проявляться тенденция второстепенности научно-технической деятельности по отношению к инновационной. Направление экономической мысли пошло по пути того, что изобретения появляются постоянно, но только лишь благодаря усилиям предпринимателей и благоприятным экономическим условиям они могут реализоваться в инновацию. Так, Н. Д. Кондратьев утверждал: «Научно-технические изобретения могут быть, но могут оставаться недейственными, пока не появятся необходимые экономические условия для их применения» [1, с. 382].

Безусловно, дифференциация сферы создания инноваций, основанных на научных достижениях, на научно-техническую и инновационную на определенном этапе была плодотворной. Стало ясно, что суть и содержание каждого из этих видов деятельности различна. Соответственно различны и их субъекты: для научно-технической — ученый-изобретатель, для инновационной — предприниматель. Хороший ученый-изобретатель редко является также и хорошим инновационным предпринимателем, так как для успеха в этих видах деятельности необходимы совершенно различные качества, поэтому совмещение этих функций в одном человеке (Д. Уатт, Т. Эдисон и др.) является довольно редким явлением. Неудачи в бизнесе успешных ученых-изобретателей (Н. Тесла, Р. Дизель, У. Шокли и др.) являются ярким подтверждением этой точки зрения.

Механическое следование этой традиции может приводить к неверным управленческим решениям. Так, в соответствии со статьей 19 Закона «О государственной инновационной политике и инновационной деятельности» считается, что инновационная деятельность может включать в себя разработку новой (усовершенствованной) продукции или технологии [2]. Однако в понятийном аппарате этого же закона в соответствии с вышеуказанным общемировым трендом заложен принципиально иной подход. Так, в его основных терминах (статья 1) определено, что инновационная деятельность — деятельность по преобразованию новшества в инновацию [2], то есть эта деятельность начинается после создания новшества, под которым в соответствии с этим же законом подразумевается результат интеллектуальной деятельности (в том числе прикладных исследований, ОКР и т. д.) в форме экспериментального или опытного образца [2]. Однако разработанными опытным образцом и конструкторской документацией на него с присвоением литеры «О» или «О₁» как раз и заканчивается научно-техническая деятельность. Из этого следует, что в соответствии с вышеназванным законом инновационная деятельность начинается после научно-технической. Такой подход находит все большее отражение как в нормативных правовых актах Республики Беларусь, так и в практической деятельности. Например, из самого названия указа о приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности ясно, что эти сферы в основном не пересекаются, в частности что научно-техническая деятельность не входит составной частью в инновационную.

Это не противоречит нашей точке зрения, так как в целях анализа иногда целесообразно разделять интегрированный процесс (цикл) по созданию инновации на научно-техническую и инновационную деятельность. Кроме того, отдельные классы инноваций (организационные, маркетинговые и др.) могут вообще осуществляться без прикладных исследований и НИОК(Т)Р. Однако это создает у субъектов инновационной деятельности в нашей стране неверный посыл, что, не неся затрат на НИОК(Т)Р, инновация создается с чистого листа путем внедрения на предприятии купленной за рубежом у другого субъекта разработки или технологии. Отметим, что такой путь возможен на практике и в основном заключается в приобретении крупной корпорацией за значительные средства успешных компаний-стартапов [3, с. 211]. В результате владельцем новшества и соответствующих интеллектуальных ресурсов (в том числе их носителей — людей) становится исключительно корпорация, которая также имеет достаточно своих ресурсов для проведения собственных дальнейших исследований для его доработки и масштабного внедрения. Отдельные же предприятия Беларуси, следуя вышеназванному послы, закупают готовые технологии за рубежом и, как правило, терпят неудачу по следующим причинам. Во-первых, предприятия с таким посылом не проводят собственные исследования и разработки, поэтому у них не наработаны собственные компетенции и соответствующие интеллектуальные ресурсы для доработки новшества и его успешного внедрения. Во-вторых, ни одна компания не заинтересована в полном отчуждении другим компаниям новшеств мирового уровня, которые она может со сверхприбылью внедрить сама. Компании могут продавать либо устаревшие технические решения, а сами внедрять более новые, либо продавать технологии широкому кругу субъектов по лицензии со значительными постоянными выплатами за сопровождение, техническое обслуживание и т. п. В этом случае монопольное положение производителя с инновационной технологией быстро теряется, а сверхприбыли остаются лишь у продавца — разработчика такой технологии.

Следуя этому же послы, на макроуровне регулирования сферы инноваций в целях специализации управленческой деятельности может создаваться иллюзия эффективности решения по разделению функции по управлению научно-технической и инновационной деятельностью с передачей их разным госорганам. Однако в случае его реализации разрывается единый процесс управления созданием инноваций, основанных на НИОК(Т)Р. Так, в Республике Беларусь периодически предлагается упразднить Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь (ГКНТ) с передачей функции по управлению научно-технической деятельностью НАН Беларуси, а инновационной деятельностью — Министерству экономики Республики Беларусь. В этой связи отметим, что еще в позднем СССР понимали важность сохранения государственного управления сферы разработок и сферы их внедрения в одних руках.

В противоположность научной тенденции разделения научно-технической деятельности и инновационной деятельности и рассмотрения их как во многом независимых сфер деятельности в настоящее время в мировой практике мы наблюдаем другой феномен: возрастание роли науки для создания инноваций и рост

их наукоемкости. Так, в затратах на инновации в развитых странах затраты на НИОК(Т)Р составляют более половины. В соответствии с данными Евростата, в 2022 г. доля таких затрат в общих затратах на инновации составила для Германии — 60,9 %, Франции — 91,4 %, Италии — 68,9 %, Финляндии — 83,9 %, Швеции — 79,2 % [5].

Необходимо подчеркнуть, что именно в целях создания высокоприбыльных инноваций коммерческие компании несут значительные затраты на исследования и разработки, при этом их совокупные расходы не только составляют основную часть наукоемкости ВВП соответствующих стран, но и за последние десять лет значительно возросли (рис. 1). Таким образом, в настоящее время все большая часть инноваций основывается на масштабных и дорогостоящих исследованиях. В дальнейшем, исходя из динамики показателя наукоемкости на рис. 1, данная тенденция будет только усиливаться.

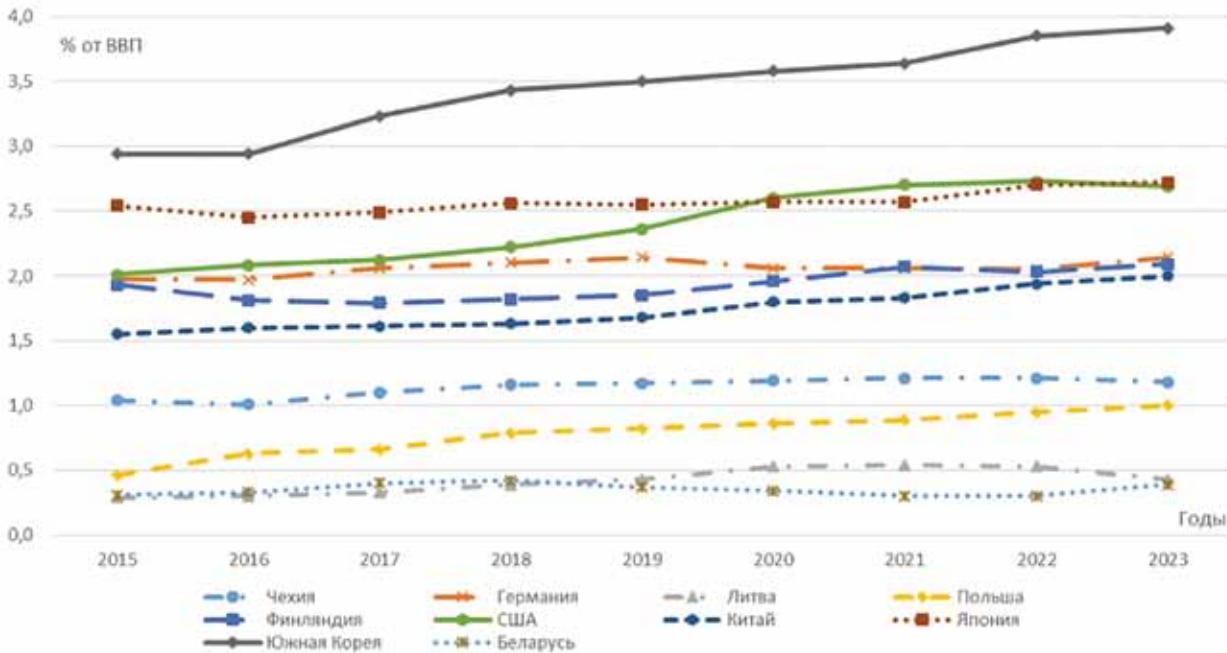


Рис. 1. Динамика доли расходов на НИОК(Т)Р в коммерческом секторе в ВВП в различных странах, процентов

Источник: разработка авторов на основе данных из [19] и [20].

Исходя из вышеизложенного, для управления единой сферой создания инноваций, основанных на научных достижениях, от прикладных исследований до внедрения новшеств, а не отдельными ее частями, целесообразно обратно интегрировать научно-техническую и основанную на ее результатах инновационную деятельность в единую сферу деятельности. Так, лауреат Нобелевской премии по экономике 2025 г. Д. Мокир пишет: «В краткосрочном плане... одно вполне возможно без другого. Однако в долгосрочном плане технологически креативные общества должны проявлять как изобретательство, так и новаторство. Без изобретений инновации в конце концов затормозятся и прекратятся, ввергнув общество в состояние застоя. Без инноваций изобретатели не будут иметь точки применения сил и серьезных экономических стимулов для того, чтобы развивать новые идеи... такая взаимодополняемость является одной из причин, по которым столь редки технологически креативные общества» [6, с. 30].

Для отражения вышеназванных современных реалий и целостности (взаимодополняемости) научно-технической и основанной на ее результатах инновационной деятельности на практике применяют словосочетание «инновационный цикл», под которым подразумевают цикл создания инновации, начиная с НИОК(Т)Р. Такая формулировка, на наш взгляд, противоречит как законодательно определенному в нашей республике понятию инновационной деятельности, так и международным подходам к ее определению. Так, в обновленном в 2018 г. Руководстве Осло (рекомендациях Евростата по сбору, отчетности и использованию данных об инновациях) подчеркивается, что НИОК(Т)Р не являются ни достаточным, ни необходимым условием для любой инновационной деятельности или инновации [8, с. 54]. Это связано с тем, что на практике существуют инновации, которые не основаны на результатах научно-технической деятельности (например, инновации в дизайне, имитационные и др.). Наоборот, имеется отдельный подкласс инноваций, которые основаны

на результатах НИОК(Т)Р. Таким образом, весь класс инноваций можно разделить на подклассы инноваций, основанных на результатах научно-технической деятельности и не основанных на них (рис. 2). Соответственно, инновационную деятельность можно разделить на внедрение результатов научно-технической деятельности и внедрение результатов интеллектуальной деятельности, не основанных на НИОК(Т)Р.

В случае рассмотрения подкласса инноваций, в основе которых лежат результаты НИОК(Т)Р, процесс их создания начинается не с отбора новшества для его внедрения, а с проведения прикладных исследований для подтверждения жизнеспособности идеи новшества или проведению ОКР или ОТР для создания новшества, то есть с научно-технической деятельности. Приступая к ней, исследователь как раз и ставит перед собой в качестве цели разработку такого нового (или значительно усовершенствованного) продукта и (или) технологии, которые будут внедрены в экономику из-за получаемого от них экономического эффекта. Если абстрагироваться от конкретной формы новации, то можно сказать, что ученый как раз и изобретает новшество ради получаемого от него при внедрении эффекта. В этой связи отметим, что в этом как раз и состоит отличие прикладных исследований от фундаментальных. Фундаментальные исследования проводятся в целях получения новых знаний о природе, обществе и т. д., тогда как прикладные — применения знаний для получения новых технологий, продуктов и т. д. [9], при этом сами прикладные исследования являются отправной точкой для создания инновации и, наряду с опытно-конструкторскими (опытно-технологическими) работами, составляют суть научно-технической деятельности (НТД) [9] с общепринятой аббревиатурой — НИОК(Т)Р.

Поскольку любая человеческая деятельность совершается ради достижения конкретной цели, содержание деятельности определяется ее целью. Общеизвестно, что целью инновационной деятельности является создание инновации, поэтому любая активность, направленная на достижение этой цели, должна входить в инновационную деятельность. Таким образом, в случае инновации, основанной на НИОК(Т)Р, научно-техническая деятельность должна входить составной частью в инновационную. Такой подход согласуется с международными подходами к формированию понятия инновационной деятельности. Так, в соответствии с Руководством Осло, инновационная деятельность включает в себя всю деятельность по развитию предприятия, а также финансовую и коммерческую деятельность, целью которой является осуществление инновации для предприятия [8, с. 68]. Однако закон об инновационной деятельности сужает эту деятельность до деятельности по преобразованию новшества в инновацию. В этом состоит суть отличий понятия инновационной деятельности в нашей стране и международной практики.

Вместе с тем само законодательно регламентированное понятие инновации в нашей стране согласуется с международными подходами. Кроме того, как подчеркивалось нами ранее, в статье 19 Закона «О государственной инновационной политике и инновационной деятельности» указано, что инновационная деятельность может включать в себя разработку новой (усовершенствованной) продукции или технологии [2]. Затраты на НИОК(Т)Р в отечественной и международной статистике также рекомендуется относить к затратам на инновации [15, с. 6 указаний по заполнению формы; 8, с. 87]. Более того, так как коммерческие предприятия осуществляют в своих научных подразделениях фундаментальные исследования в целях использования их результатов для создания инноваций в отдаленной перспективе, то разграничить в данном случае окончание фундаментальных и начало прикладных исследований довольно трудно. В соответствии с международными подходами все виды НИОК(Т)Р, выполняемые или оплачиваемые предприятиями, считаются по определению инновационной деятельностью данного предприятия [8, с. 87]. В соответствии с рекомендациями Национального статистического комитета Республики Беларусь затраты на фундаментальные исследования предлагается относить к затратам на инновации [15, с. 6 указаний по заполнению формы].

Исходя из вышеизложенного, в соответствии с законодательством Республики Беларусь инновационная деятельность начинается лишь после создания новшества, а в затраты на создание инновации, то есть, по сути, в затраты на инновационную деятельность, включены и затраты на создание этого новшества. Таким образом, в нашей стране (да и в Российской Федерации) система основных понятий в сфере инноваций внутренне противоречива.

Это связано с двойственностью понятия «инновационная деятельность» в русском языке. В узком понимании этот термин обозначает преобразование новшества в инновацию в соответствии с законом об инновационной деятельности или коммерциализацию научных и (или) научно-технических результатов — Федеральным законом Российской Федерации «О науке и государственной научно-технической политике» [10]. В широком смысле это деятельность по созданию инновации. При наукоемких инновациях в таком понимании инновационная деятельность будет включать в себя и научно-техническую. Необходимо отметить, что в случае инноваций, не основывающихся на НИОК(Т)Р, оба толкования этого термина будут совпадать, и только при наукоемких инновациях наблюдается двойственность этого понятия. В этой связи стоит также особо отметить, что изначально ОЭСР определяло инновацию как «первое применение науки и техники новым способом с коммерческим успехом» [16, с. 11]. Отказ от такого определения в пользу более широкого трактования инноваций

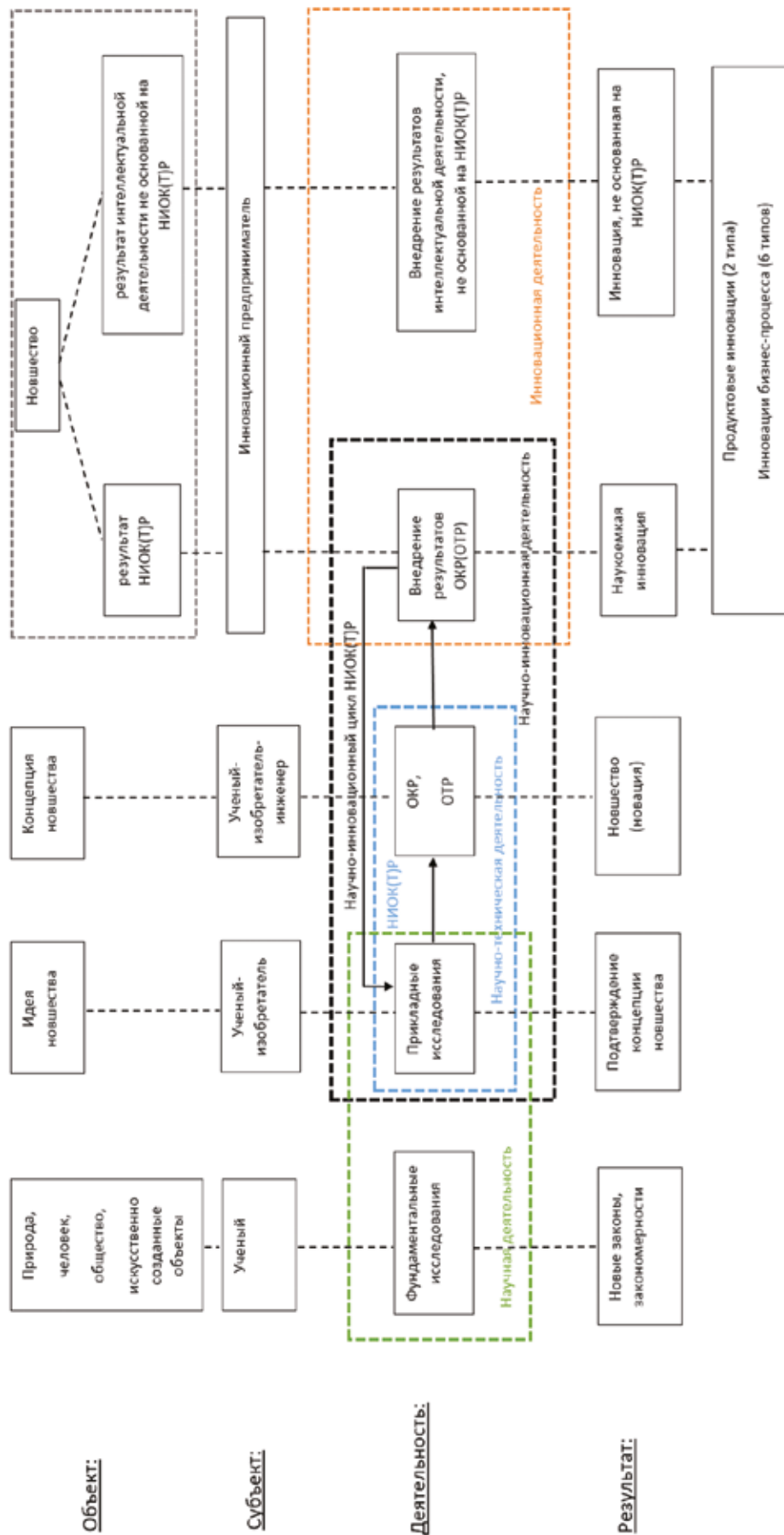


Рис. 2. Система экономических категорий в научной, научно-технической и инновационной сферах

Источник: собственная разработка авторов.

привел к тому, что, как указывают Шварц и Дабич, различные типы современных нематериальных экономик игнорируют научные исследования и технологии как факторы роста и занятости, а инновации, не основанные на результатах НИОК(Т)Р, стали безоговорочно приниматься в качестве основного двигателя экономического роста [17, с. 160–161]. Необходимо переопределить понятие инноваций, основанных на результатах научно-технической деятельности, на новом витке «диалектической спирали» развития общества.

Таким образом, целесообразно для понятий инновации, основанной на НИОК(Т)Р, и соответствующей деятельности по ее созданию ввести отдельные экономические категории. Необходимо отметить, что философское обоснование введения в оборот данных категорий уже в значительной степени проделано. Так, доктор философских наук Г. Н. Оботурова вводит понятие «научно-инновационная деятельности», однако она не дает ему четкого определения [11]. В монографии «Философия научно-инновационной деятельности» С. А. Лебедев и Ю. А. Ковылин вводят понятия «научная инновация» и «научно-инновационная деятельность». Под научной инновацией они подразумевают начало коммерциализации изобретения, содержащего в своей основе использование прежде всего научного знания [12, с. 39]. Несмотря на концептуальную схожесть с понятием инноваций, основанных на НИОК(Т)Р, предложенный термин не согласуется с укоренившейся традицией применения образованного от существительного прилагательного перед словом «инновация» для обозначения сферы применения данной инновации. Например, экологические инновации, социальные инновации, маркетинговые инновации и т. п. В соответствии с этой традицией под понятием научных инноваций можно подразумевать инновации в области научной деятельности. На наш взгляд, более верно назвать инновации, основанные на НИОК(Т)Р, термином «наукоемкие инновации». Эта категория хорошо отражает не область применения данной инновации, а именно ее свойство быть основанной на научно-технической деятельности, то есть «вмещать» в себя в качестве определяющего элемента значительную научную составляющую.

Что касается экономической категории, обозначающей деятельность по созданию наукоемких инноваций, то будем также называть ее «научно-инновационная деятельность». Данное понятие хорошо отражает стадийность процесса создания наукоемкой инновации от прикладных исследований (научная деятельность) через ОКР или ОТР (научно-техническая деятельность) к внедрению созданного новшества (инновационная деятельность в узком смысле). Однако предлагаемая нами категория отличается от категории, предложенной Г. Н. Оботуровой, С. А. Лебедевым и Ю. А. Ковылиным. Сформулированное последними понятие научно-инновационной деятельности начинается с фундаментальных исследований или, по их выражению, с создания базового знания [12, стр. 39], что, на наш взгляд, неверно, так как в данном случае нарушается принцип целеполагания деятельности, поскольку фундаментальные исследования не направлены на создание какой-либо конкретной инновации.

Таким образом, предложенная ими категория включает в себя научную, научно-техническую и инновационную деятельности, тогда как наша — научно-техническую и инновационную деятельность для наукоемких инноваций. Такое различие на практике имеет важные последствия. Если ученому, занимающемуся фундаментальными исследованиями, сразу ставить задачу по практическому применению результатов, то есть фактически разрешать ему проводить только такие исследования, которые будут нацелены на создание инновации уже в краткосрочном периоде (а такие попытки предпринимались даже в США и получили в научной среде горько-ироничное название «эра отчетности» [18, с. 21–22]), то это приведет к катастрофическому ограничению свободы творчества ученого и аннигиляции его научной интуиции для научного поиска. В этой связи создатель концепции «постиндустриального общества» Д. Белл предупреждал: «Бюрократизация таит в себе серьезный риск для науки... Для организации науки создание централизованной бюрократии... может означать удушение поиска и привести к тому, что научная работа будет вестись в русле утвержденных свыше национальных или социальных задач и определяться приоритетом политических целей» [13, с. 542].

Для более четкого отражения соотношений между введенными нами и существующими категориями применим математический аппарат теории множеств. Как писал Д. М. Кейнс: «Может быть, главная польза от всех этих символов в том, что крайняя сложность взаимосвязи... предстает наиболее ярко, когда мы пытаемся выразить ее формальным образом» [14, с. 461]. В теоретико-множественных обозначениях соотношения между нашими категориями можно выразить следующим образом:

$$I = SI \cup NSI, SI \cap NSI = \emptyset, \quad (1)$$

$$IA = IAS \cup NIAS, IAS \cap NIAS = \emptyset, \quad (2)$$

$$SIA = STA \cup IAS, \quad (3)$$

где I — множество инноваций;

SI — множество наукоемких инноваций;

NSI — множество инноваций, не основанных на НИОК(Т)Р;

IA — инновационная деятельность;

IAS — инновационная деятельность по преобразованию наукоемкого новшества;
 NIAS — инновационная деятельность, не основанная на результатах НИОК(Т)Р;
 SIA — научно-инновационная деятельность;
 STA — научно-техническая деятельность.

Сферу деятельности, ограниченную созданием наукоемких инноваций, в соответствии с введенными нами категориями, необходимо называть научно-инновационной сферой. Объектом государственного регулирования ГКНТ является именно научно-инновационная сфера.

Предложенная нами система экономических категорий в научной, научно-технической и инновационной сферах позволяет на новом витке диалектической спирали перейти от регулирования создания инноваций вообще к концентрации ресурсов на стимулирование отечественных наукоемких инноваций как главному фактору устойчивого инновационного развития экономики Республики Беларусь.

Список цитируемых источников:

1. Кондратьев, Н. Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. Избранные труды / Н. Д. Кондратьев; Международный фонд Н. Д. Кондратьева и др.; ред. колл.: Абалкин Л. И. (пред.) и др.; сост. Яковец Ю. В. — М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2002. — 767 с.
2. О государственной инновационной политике и инновационной деятельности [Электронный ресурс]: Закон Республики Беларусь от 10.07.2012 № 425-3; в ред. Закона Республики Беларусь от 6 января 2022 г. № 152-3 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. — URL: [https://pravo.by/document/?guid=2012&oldDoc=2011-129/2011-129\(026-087\).pdf&oldDocPage=1](https://pravo.by/document/?guid=2012&oldDoc=2011-129/2011-129(026-087).pdf&oldDocPage=1).
3. Росс, А. Индустрии будущего / А. Росс [перевод с английского П. Миронова]. — М.: Издательство «АСТ», 2017. — 351 с.
4. Шумпетер, Й. Теория экономического развития: Пер. с нем. / Й. Шумпетер. — М.: Прогресс, 1982. — 457 с.
5. Eurostat: [Браузер данных]. — [Brussels], 2026. — URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/inn_cis13_exp_custom_19614835/default/table (дата обращения: 16.03.2026).
6. Мокир, Дж. Рычаг богатства: технологическая креативность и экономический прогресс / Дж. Мокир; пер. с англ. Н. Эдельмана; под науч. ред. Т. Дробышевской, А. Смирнова. — М.: Изд-во Института Гайдара, 2014. — 499 с.
7. Merton, R. K. The Sociology of Science: Theoretical and Empirical Investigations / R. K. Merton; edited and with an introduction by N. W. Storer. — Chicago; London: University of Chicago Press, 1973. — xxxi, 605 p.
8. Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation / OECD, Eurostat. — 4th ed. — Paris: OECD Publishing; Luxembourg: Eurostat, 2018. — 258 p.
9. О научной деятельности [Электронный ресурс]: Закон Республики Беларусь от 21.10.1996 № 708-ХІІІ; в ред. Закона Республики Беларусь от 17.10.2005 № 46-3 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. — URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=V19600708>.
10. О науке и государственной научно-технической политике [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 23.08.1996 № 127-ФЗ; в ред. от 31.07.2025 // СПС «КонсультантПлюс». — URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=511667&dst=100001#5DGr5KVq6dlfh0H31>.
11. Оботурова, Г. Н. Научно-инновационная деятельность: понятие, основные направления, результаты и ценности / Г. Н. Оботурова // Пенитенциарная наука. — 2012. — № 20. — С. 55–59.
12. Лебедев, С. А. Философия научно-инновационной деятельности: монография / С. А. Лебедев, Ю. А. Ковылин. — М.: Академический Проект: Парадигма, 2012. — 182 с.
13. Белл, Д. Грядущее постиндустриальное общество. Опыт социального прогнозирования / Д. Белл. Перевод с английского. Изд. 2-е, испр. и доп. — М.: Academia, 2004. — 788 с.
14. Кейнс, Дж. М. Избранные произведения: Пер. с англ. / Дж. М. Кейнс; Предисл., коммент., сост.: А. Г. Худокормов. — М.: Экономика, 1993. — 543 с.
15. Об утверждении формы государственной статистической отчетности 1-нт (инновация) «Отчет об инновационной деятельности организации» и указаний по ее заполнению: постановление Национального статистического комитета Республики Беларусь от 3 сент. 2021 г. № 76; в ред. постановления Белстата от 12 сент. 2025 г. № 74 // Национального правовой Интернет-портал Республики Беларусь. — URL: <https://pravo.by>.
16. Pavitt, K. The Conditions for Success in Technological Innovation / K. Pavitt, S. Wald; Organisation for Economic Co-operation and Development. — Paris: OECD, 1971. — 169 p.
17. Švarc, J. Evolution of the Knowledge Economy: a Historical Perspective with an Application to the Case of Europe / J. Švarc, M. Dabić. // Journal of the Knowledge Economy. — 2017. — Vol. 8, No. 1. — P. 159–176.
18. Данилин, И. В. Современная научно-техническая политика США: инструменты и основные направления / И. В. Данилин; Институт мировой экономики и международных отношений РАН. — М.: ИМЭМО РАН, 2011. — 140 с.
19. Отдельные показатели Европейского Инновационного Табло (EIS–2024) по Республике Беларусь, 2024 год // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. — URL: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/nauka-i-innovatsii/innovatsii/godovye-dannye/> (дата обращения: 26.05.2026).
20. GERD по секторам эффективности и видам НИОКР // Eurostat: [Браузер данных]. — URL: https://www.ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/rd_e_gerdact_custom_19614648/default/table (дата обращения: 26.05.2026).

УДК 331.101.1:628.58

ПОВЫШЕНИЕ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ
ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА
ОТ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ

IMPROVING THE ERGONOMIC CHARACTERISTICS
OF THE PRODUCTION ENVIRONMENT OF TELECOMMUNICATION
SYSTEMS THROUGH THE USE OF ELECTROSTATIC AIR PURIFICATION
FROM HIGHLY DISPERSED PARTICLES

П. И. Балтрукович,

доцент кафедры инженерной психологии и эргономики УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», канд. техн. наук, доцент,
г. Минск, Республика Беларусь

Л. П. Пилиневич,

профессор кафедры инженерной психологии и эргономики УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», д-р техн. наук, профессор,
г. Минск, Республика Беларусь

Н. В. Русина,

аспирант кафедры инженерной психологии и эргономики УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»,
г. Минск, Республика Беларусь

P. Baltrukovich,

Associate Professor of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics of the EI "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics", Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Minsk, Republic of Belarus

L. Pilinevich,

Professor of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics of the EI "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics", Doctor of Technical Sciences, Professor,
Minsk, Republic of Belarus

N. Rusina,

PhD Student, Department of Engineering Psychology and Ergonomics of the EI "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics",
Minsk, Republic of Belarus

Дата поступления в редакцию — 18.03.2026.

Статья посвящена решению актуальной задачи повышения эргономических характеристик производственной среды телекоммуникационных систем. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса очистки воздуха от высокодисперсных частиц в телекоммуникационных системах с помощью электростатического фильтра.

This article addresses the pressing issue of improving the ergonomics of the working environment of telecommunications systems. The results of theoretical and experimental studies of air purification from highly dispersed particles in telecommunications systems using an electrostatic filter are presented.

Ключевые слова: телекоммуникационные системы, эргономика производственной среды, электростатический фильтр, высокодисперсные частицы, высокопористый ячеистый материал, коронный разряд, эффективность очистки воздуха.

Keywords: telecommunication systems, ergonomics of the production environment, electrostatic filter, highly dispersed particles, highly porous cellular material, corona discharge, air purification efficiency.

Введение. В телекоммуникационных системах высокая плотность размещения электронных компонентов, соединительных проводов и кабелей приводит к значительному тепловыделению. Кабельные линии нагреваются электрическим током и выделяют химические вещества из материалов изоляции, воздействуя на окружающую среду [1]. Следствием данных термических процессов является поступление в воздух рабочей зоны продуктов деградации полимеров — высокодисперсных аэрозольных частиц, ухудшающих качество воздуха [2]. Превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) таких аэрозолей в воздухе рабочей зоны вызывает напряжение физиологических систем организма, что выражается в учащении пульса, снижении внимания, а также в общем психофизиологическом дискомфорте [3]. Традиционные волокнистые фильтры обладают низкой эффективностью улавливания высокодисперсной фракции частиц. Одним из эффективных методов очистки воздуха от них является использование электростатических фильтров [4–7].

Цель работы: повышение эргономических характеристик производственной среды телекоммуникационных систем за счет снижения концентрации высокодисперсных частиц с помощью электростатического фильтра, параметры которого экспериментально обоснованы для условий термической деградации полимеров кабельной изоляции.

Теоретическая часть. Для достижения поставленной цели необходимо обосновать параметры электростатического фильтра, обеспечивающие эффективное улавливание аэрозолей, образующихся при термической деградации полимеров кабельной изоляции.

В предлагаемом устройстве осадительные электроды выполнены из высокопористого ячеистого материала (ВПЯМ) на основе никеля, что отличает его от конструкций с традиционными пластинчатыми или волокнистыми осадительными электродами. Выбор ВПЯМ обусловлен его высокой удельной поверхностью и значительной газопроницаемостью, которые повышают вероятность контакта заряженных аэрозольных частиц с поверхностью осаждения [8, 9]. Структура ВПЯМ образована повторяющимися элементарными ячейками (см. рисунок).

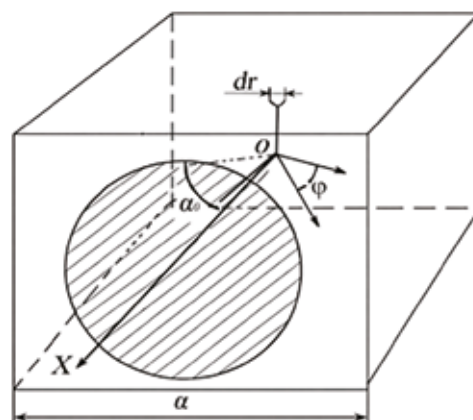
Ребра этих ячеек формируют перемишки, которые являются несущими элементами каркаса материала. В каждом узле структуры сходятся четыре перемишки, образующие между собой углы, приблизительно равные 109°. Длина перемишек и площадь их поперечного сечения зависят от пористости материала: с ее увеличением перемишки становятся тоньше и длиннее, что изменяет аэродинамическое сопротивление и эффективность осаждения частиц.

Для описания движения единичной аэрозольной частицы вблизи отдельной перемишки использовано уравнение, учитывающее инерционные силы, аэродинамическое сопротивление, силу тяжести, диффузионный перенос и электростатическое взаимодействие [8]:

$$\frac{1}{6}\pi d_p^3 \rho_p \frac{dv}{dt} = 3\pi\mu d_p (U - v) + \frac{1}{6}\pi d_p^3 \rho_p g + f_D + F_e, \tag{1}$$

- где d_p — размер частиц аэрозоля;
- ρ_p — плотность материала частиц аэрозоля;
- μ — динамическая вязкость газа;
- v — скорость частицы;
- U — скорость газа на линии потока газа вокруг перемишки;
- g — вектор гравитационного ускорения;
- f_D — эквивалентная диффузионная сила;
- F_e — электростатическая сила, действующая на заряженную частицу аэрозоля.

Эффективность осаждения на одной перемишке определяется путем численного интегрирования уравнения (1) для ансамбля частиц с последующим расчетом доли частиц, приблизившихся к поверхности перемишки на расстояние, не превышающее их радиус.



Элементарная ячейка ВПЯМ: d — диаметр перемишки; φ — угол между перемишками; a — характерный размер элементарной ячейки, равный радиусу ячейки ВПЯМ; α_0 — угол между гранью ячейки и осью OX

Источник: [8, 9].

Влияние электростатических сил на эффективность улавливания может быть охарактеризовано безразмерным параметром η_E [8]:

$$\eta_E = 4 \frac{Fe}{3\pi\mu d p U_0}, \quad (2)$$

где U_0 — скорость обтекания потока газа перемычки.

Численное решение уравнений (1) и (2) позволяет оценить долю частиц, осаждающихся на поверхности перемычки, и, как следствие, предсказать общую эффективность фильтра.

Приведенное теоретическое описание базируется на модели, детально изложенной в [8, 9]. В отличие от указанных работ, где рассматривались общепромышленные условия, в настоящем исследовании модель адаптирована для условий телекоммуникационных систем с учетом фракционного состава частиц, выделяющихся при термической деградации полимеров кабельной изоляции. Это позволило обосновать параметры электростатического фильтра, необходимые для достижения остаточной концентрации аэрозолей на уровне не выше 0,1 ПДК, что создает предпосылки для снижения физиологической нагрузки на операторов.

Экспериментальная часть. Экспериментальный образец электростатического фильтра разработан на основе конструкции, описанной в [9]. Однако, в отличие от [9], в данной работе модельные аэрозоли подбирались не для общепромышленных условий, а для конкретного состава продуктов деградации полимерных материалов (ПВХ, полиэтилен, фторопласты), применяемых в телекоммуникационном оборудовании (кабели, изоляция, соединители). В состав экспериментального образца входят: коронирующие и осадительные электроды из ВПЯМ на основе никеля, герметичный корпус, высоковольтный источник питания с регулятором напряжения, датчики напряжения и тока, а также система подвода и отвода газов.

Процесс очистки загрязненного воздуха происходит следующим образом. Загрязненный воздух поступает в межэлектродный промежуток, где частицы поляризуются в поле коронного разряда. Затем они движутся к осадительным электродам противоположного знака и осаждаются на их поверхности. По мере накопления слоя уловленных частиц эффективность осаждения снижается, поэтому для периодической очистки осадительных электродов кратковременно изменяют полярность подаваемого на них напряжения. При смене полярности осевшие частицы в виде конгломератов отрываются от электродов и уносятся вместе с потоком газа в фильтровальные рукава, а затем в бункер и устройство для удаления уловленных частиц.

Исследования эффективности электрофильтра проводили на стенде для определения эксплуатационных характеристик фильтрующих устройств и материалов, разработанном в ГНУ «Институт порошковой металлургии имени академика О. В. Романа».

Стенд позволяет варьировать следующие параметры:

- скорость потока газа через фильтр;
- полярность и величину напряженности электропитания;
- входную концентрацию, размер и химический состав аэрозоля.

Перед оснасткой с фильтрующим устройством расположен распылитель с модельным порошком загрязнителя. В качестве загрязнителя использовались:

- распыленный полистирольный латекс;
- распыленный раствор NaCl;
- распыленный порошок Al_2O_3 ;
- высокодисперсный порошок, полученный путем пиролиза полимерных материалов ПВХ.

Для повышения точности результатов экспериментальных исследований концентрация и размер модельных аэрозолей подбирались равными фактическим значениям, характерным для нормальных и критических (связанных с перегревом оборудования) условий производственной среды телекоммуникационных систем.

В целях исследования влияния площади осадительных электродов, величины напряжения питания, тока коронного разряда на производительность очистки воздуха, тонкость фильтрации и эффективность процесса осадительные электроды изготавливались в виде дисков с размером ячейки 0,8–2,0 мм, толщиной 10 и 23 мм, площадью поверхности 100 и 200 см². Коронирующий электрод имел положительную полярность, а величина напряжения питания на электродах изменялась от 1 до 5 кВ.

Исследования размеров частиц и распределения частиц загрязнителя в воздухе до и после очистки при различных условиях работы электрофильтра выполнялись при помощи лазерного аэрозольного спектрометра LAS-250X (США).

Анализ влияния величины напряженности электрического поля и тока коронного разряда на эффективность очистки показал, что эффективность повышалась от 35 до 96 % с их увеличением. Увеличение толщины

электродов и уменьшение размера пор ВПЯМ незначительно влияют на эффективность, но повышают аэродинамическое сопротивление, снижая производительность.

По результатам экспериментальных исследований установлены оптимальные параметры электростатического фильтра и режимы очистки от высокодисперсных аэрозольных частиц:

- напряжение на электродах — 5 кВ;
- ток коронного разряда — 450 мкА;
- толщина фильтрации — 0,1 мкм;
- эффективность очистки — до 96 %.

Остаточная концентрация аэрозольных частиц в очищенном воздухе не превышает 0,1 ПДК (по пыли и аэрозолям), что соответствует гигиеническим нормативам. Такое снижение концентрации вредных частиц создает предпосылки для уменьшения физиологической нагрузки и утомляемости операторов телекоммуникационных систем. Согласно исследованию [3], снижение концентрации PM2.5 в воздухе помещений приводит к повышению variability сердечного ритма и снижению субъективно оцениваемых умственных усилий при выполнении когнитивных задач, что подтверждает физиологическую обоснованность ожидаемого эффекта (см. таблицу).

Ожидаемое улучшение физиологических показателей операторов

Показатель	Эффект при высокой концентрации PM2.5	Эффект после очистки (≤ 0,1 ПДК)
Вариабельность сердечного ритма (HRV)	снижена (активация симпатической нервной системы)	повышение (увеличение парасимпатической активности)
Субъективные умственные усилия	повышены	снижение
Исполнительные когнитивные функции	снижены	улучшение (опосредовано через HRV)
Учащение пульса	наблюдается	снижение до нормы

Источник: [3].

Полученные технические характеристики фильтра согласуются с результатами работы [9], однако достигнуты применительно к специфическим условиям телекоммуникационных систем, что подтверждает универсальность предложенной конструкции.

Проведенные испытания опытного образца электростатического фильтра подтвердили его заявленные характеристики, способные эффективно очищать воздух в помещениях с телекоммуникационным оборудованием, включая серверные, аппаратные и центры обработки данных, где присутствуют высокодисперсные частицы, выделяющиеся при нагреве изоляции и электронных компонентов. Решение указанных задач позволит повысить эргономические характеристики производственной среды и снизить влияние человеческого фактора при работе операторов телекоммуникационных систем.

Заключение. В ходе работы разработан и испытан лабораторный образец электростатического фильтра с осадительными электродами из ВПЯМ. При оптимальных параметрах эффективность улавливания аэрозольных частиц достигает 96 %, а остаточная концентрация загрязнений в очищенном воздухе не превышает 0,1 ПДК. Использование такого фильтра в помещениях с телекоммуникационным оборудованием позволяет снизить содержание высокодисперсных частиц в воздухе рабочей зоны, что соответствует действующим гигиеническим нормативам.

В отличие от работы [9], где исследовалась эффективность фильтра в общепромышленных условиях, в настоящей статье впервые показана его применимость для телекоммуникационных систем. Эргономическая значимость полученных результатов подтверждена ссылкой на исследование [3], которое устанавливает связь между снижением концентрации PM2.5 и улучшением когнитивных функций человека.

Список цитируемых источников:

1. Короткевич, М. А. Оценка воздействия кабельных линий электропередачи на окружающую среду / М. А. Короткевич, С. Н. Азаров // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. — 2019. — Т. 62, № 5. — С. 422–432.
2. Li, T.-Y. Characteristics of Polybrominated Diphenyl Ethers Released from Thermal Treatment and Open Burning of E-Waste / T.-Y. Li, J.-F. Zhou, C.-C. Wu [et al.] // Environmental Science & Technology. — 2018. — Vol. 52/Issue 8. P/ 4650–4657.
3. Zhou, J. Heart rate variability, electrodermal activity and cognition in adults: Association with short-term indoor PM2.5 exposure in a real-world intervention study / J. Zhou, G. Huebner, K.Y. Liu [et al.] // Environmental Research. — 2024. — 263 (3). — Art. 120245.

4. Particle removal performance of a novel ESP type air cleaning system for indoor air quality in a subway station / H. J. Kim, H. Lee, G. Lee [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. — 2024. — Vol. 2702. — P. 012008.
5. Zadi, T. Simultaneous removal of multiple indoor-air pollutants using a combined process of electrostatic precipitation and catalytic decomposition / T. Zadi, A. A. Assadi, S. Rtimi [et al.] // Chemical Engineering Journal. — 2020. — Vol. 388. — P. 124–230.
6. Галкин, А. Е. Эффективность фильтрации аэрозолей в условиях действия электрических сил в зависимости от скорости потока / А. Е. Галкин, М. В. Тумилович, Л. П. Пилиневич // Материалы. Технологии. Инструменты. — 2010. — Т.15, № 2. — С. 78–84.
7. Кравцов, А. Г. Способ анализа структуры и свойств регенерированных полимерных волокнистых фильтроматериалов для тонкой очистки воздуха / А. Г. Кравцов, М. В. Тумилович, Л. П. Пилиневич // Доклады БГУИР. — 2021. — Т. 19, № 1. — С. 96–104.
8. Тумилович, В. В. Пористые порошковые материалы и изделия на их основе для защиты здоровья человека и охраны окружающей среды: получение, свойства, применение / М. В. Тумилович, Л. П. Пилиневич, В. В. Савич [и др.] // Минск: Беларус. наука, 2010. — 362 с.
9. Пилиневич, Л. П. Очистка воздуха в закрытых помещениях от высокодисперсных частиц и аэрозолей / Л. П. Пилиневич, М. В. Тумилович, Д. М. Румянцев [и др.]. // Доклады БГУИР. — 2022. — Т. 20, № 4. — С. 88–95.

УДК 615.47:615.816.2:681.515

БИОТЕХНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ МЕЖДУ КЛИНИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ГОМЕОСТАЗА И ПАРАМЕТРАМИ КИСЛОРОДНОЙ ТЕРАПИИ

A BIOTECHNICAL MODEL WITH FEEDBACK BETWEEN CLINICAL HOMEOSTASIS PARAMETERS AND OXYGEN THERAPY PARAMETERS

О. Б. Зельманский,

доцент кафедры защиты информации УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», канд. техн. наук, доцент,
г. Минск, Республика Беларусь

O. Zelmanski,

Associate Professor of the Department of Information Security of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, PhD in Engineering, Associate Professor,
Minsk, Republic of Belarus

Дата поступления в редакцию — 19.03.2026.

Обоснован комплекс персонализированных параметров проведения кислородной терапии (скорость подачи, давление, время воздействия обогащенной кислородом воздушной смеси), требующих подбора и динамической коррекции в процессе лечения. Определен ключевой набор контролируемых клинико-физиологических показателей (парциальное давление кислорода и кислотно-щелочное состояние артериальной крови, частота дыхания и сердечных сокращений, температура тела), анализ которых в реальном времени является основанием для управления параметрами терапии.

A set of personalized parameters for oxygen therapy (flow rate, pressure, exposure time to an oxygen-enriched air mixture) is substantiated. These parameters require selection and dynamic adjustment during treatment. A key set of monitored clinical and physiological parameters is defined (partial oxygen pressure and acid-base balance of arterial blood, respiratory rate and heart rate, body temperature), the analysis of which in real time forms the basis for managing therapy parameters.

Ключевые слова: биотехнические системы, персонализированная терапия, кислородная терапия, дыхательная недостаточность, техническое обеспечение диагностики и лечения болезней органов дыхания.

Keywords: biotechnical systems, personalized therapy, oxygen therapy, respiratory failure, technical support for the diagnosis and treatment of respiratory diseases.

Введение. Актуальной является проблема персонализации [1] и автоматизации [2] подбора и коррекции параметров кислородной терапии при лечении дыхательной недостаточности и абстинентного синдрома [3].

Это обусловлено тем, что в настоящее время регулировка параметров кислородной терапии осуществляется вручную на основании опыта и квалификации медицинского персонала. Решить данную проблему предлагается путем синтеза комплексной медицинской биотехнической системы на основе контроля функции дыхания, осуществляющей своевременную диагностику и персонализированную терапию указанных заболеваний посредством обратной связи. Это, в свою очередь, требует разработки набора клинических показателей гомеостаза пациента, являющихся входными параметрами синтезируемой системы, анализ которых в режиме реального времени является основанием для управления параметрами терапии, а также обоснования технических параметров кислородной терапии, управляющих коррекцией состояния пациента для его нормализации путем оказания терапевтического воздействия. Таким образом, синтезируемая биотехническая система представляет собой совокупность технических средств, позволяющих непрерывно мониторировать физиологические показатели человека, описываемые вектором состояния пациента $X(t)$, осуществлять их обработку, анализ и контроль в режиме реального времени и вырабатывать управляющие сигналы для адаптивной, синхронизированной с естественными процессами и ритмами, коррекции параметров лечебного воздействия $Y(t)$. В результате интеграция биологии и технических наук позволит описывать биологические системы в понятиях технических наук. Модель предлагаемой биотехнической системы приведена на рис. 1. Согласно рис. 1 биотехническая система имеет контур управления состоянием пациента посредством исполнительных устройств активного вмешательства на основании сигналов управления от мониторинговой системы в автоматическом режиме. В то же время предусмотрено два контрольных контура управления: посредством врача на основании данных о физиологических параметрах пациента, получаемых от технических средств их измерения и регистрации и посредством врача на основании результатов обработки значений физиологических параметров пациента в мониторинговой системе.

Реализация предлагаемого решения позволит снизить фармакологическую нагрузку на организм пациента и повысить эффективность лечебного процесса, обеспечив сокращение экономических затрат, поскольку целесообразность персонализации подбора и коррекции параметров кислородной терапии подтверждается проведенными исследованиями [4–8].

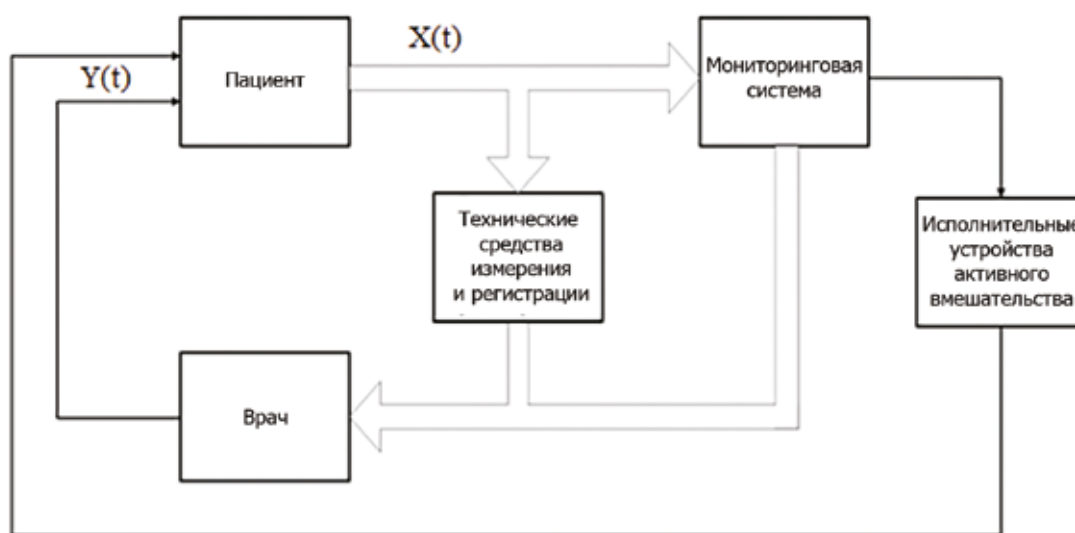


Рис. 1. Модель медицинской биотехнической системы с обратной связью

Источник: разработка автора.

Обоснование выбора технических параметров кислородной терапии, управляемых биотехнической моделью. Лечение дыхательной недостаточности до настоящего времени остается одной из самых трудных задач терапевтов, пульмонологов, реаниматологов и врачей других специальностей (рис. 2). Сегодня наиболее обоснованным методом терапии дыхательной недостаточности является применение кислорода с объемной долей не менее 90 % [9]. Цель кислородной терапии заключается в поддержании парциального давления кислорода в артериальной крови (P_aO_2) более 60 мм рт. ст. [10], что соответствует насыщению гемоглобина артериальной крови кислородом (S_aO_2) более 90 %.

Абсолютных противопоказаний к кислородной терапии не установлено. В то же время для пациентов с хронической гиперкапнией рекомендуется назначать дозу кислорода, достаточную для поддержания P_aO_2 в пределах 60–65 мм рт. ст., что соответствует S_aO_2 90–92 %, в целях недопущения дальнейшего нарастания давления

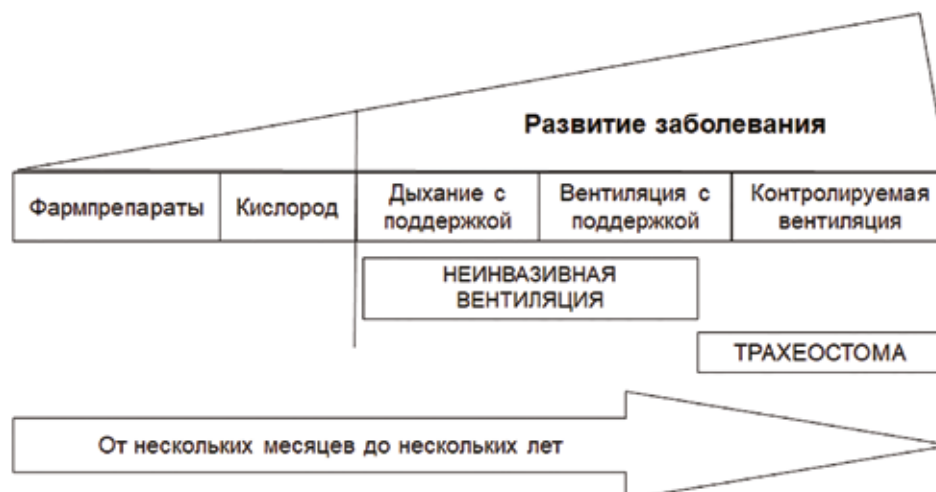


Рис. 2. Схема развития хронического заболевания, сопровождающегося дыхательной недостаточностью

Источник: разработка автора.

углекислого газа в артериальной крови (P_aCO_2). С учетом токсического влияния кислорода на легочную ткань не рекомендовано использование дыхательных смесей с фракцией вдыхаемого кислорода (FiO_2) более 60 % свыше 48 ч. Следует с осторожностью назначать кислородную терапию больным, которые получают лучевую терапию, амиодарон, поскольку данная комбинация может вызывать диффузные повреждения легких (двусторонние легочные инфильтраты, непродуктивный кашель, диспноэ, снижение комплаенса легких).

Таким образом, снижение P_aO_2 , а также нарастание P_aCO_2 являются основными признаками неблагоприятного прогноза для пациентов с дыхательной недостаточностью и абстинентным синдромом. Применение кислородной терапии позволяет снизить нагрузку на аппарат дыхания пациента, улучшить функцию дыхательных мышц, газообмен и качество сна, снизить риск последующих обострений и госпитализаций, а также увеличить выживаемость [11]. Однако применение кислорода требует соблюдения режима, дозировки и учета индивидуальных особенностей пациента для персонализации оксигенотерапии и недопущения развития гипоксии [12] и побочных эффектов [13]: нарушения мукоцилиарного клиренса и дренажной функции бронхов, снижения сердечного выброса и минутной вентиляции, системной вазоконстрикции, роста неравномерности распределения кровотока и вентиляции, задержки углекислоты и фиброза легких. В случае когда гипоксемия при хронической обструктивной болезни легких вызывается физической нагрузкой, назначение кислорода может приводить к снижению S_aO_2 более чем на 4 %, фиксируемому во время проведения теста шестиминутной ходьбы [14]. Около 21–30 % пациентов получают кислородную терапию не по показаниям или сверхнеобходимого [15].

Различают кислородное отравление, оказывающее воздействие на легкие, и кислородную интоксикацию, затрагивающую центральную нервную систему. Основными симптомами кислородного отравления являются одышка, затрудненное дыхание, кашель, нарастающая боль за грудиной, головокружение, головная боль, дрожание губ [16]. При кислородной интоксикации наблюдаются раздражительность, потеря остроты зрения и слуха, тошнота, судороги, потеря сознания. Возможно рубцевание легочной ткани и кровоизлияния на коже. Состояние пациента быстро ухудшается, и при неоказании помощи может наступить летальный исход [17].

Среди основных параметров респираторной механики, как правило, используются длительность вдоха, включающая длительность инспираторной паузы, и длительность выдоха, включающая длительность экспираторной паузы, поскольку, умножая потоковое время вдоха на скорость потока, получают объем вдоха, а умножая потоковое время выдоха на скорость потока, — объем выдоха (рис. 3) [18]. В свою очередь, умножая значение вдыхаемого и выдыхаемого объема воздуха за один дыхательный цикл на частоту дыхания, получают минутный дыхательный объем.

Наиболее доступным и информативным параметром при респираторной поддержке является трансреспираторное давление, представляющее собой градиент давления в дыхательных путях и на поверхности тела. Так, при вентиляции легких отрицательным давлением, давление в дыхательных путях равно атмосферному, а аппаратами типа Iron Lung, Cuirass на поверхности тела обеспечивается отрицательное давление [19]. Возникающий при этом градиент давления обеспечивает вдох. При вентиляции положительным давлением градиент

давления возникает из-за того, что давление на поверхности тела равно атмосферному, а в дыхательных путях создают положительное давление. На основании давления в дыхательных путях и скорости потока рассчитывают сопротивление дыхательных путей (резистанс). Хронические и обструктивные заболевания легких приводят к росту сопротивления дыхательных путей из-за уменьшения их диаметра. Отношение дыхательного объема к давлению в дыхательных путях во время инспираторной паузы характеризует податливость дыхательных путей (комплаинс), а обратное отношение — их упругость. Произведение резистанс на комплаинс представляет собой постоянную времени, одновременно отражающую сопротивление дыхательных путей и эластические свойства дыхательной системы. Рост постоянной времени свидетельствует о развитии обструктивного процесса, уменьшение — о пневмонии или интерстициальном отеке [20].

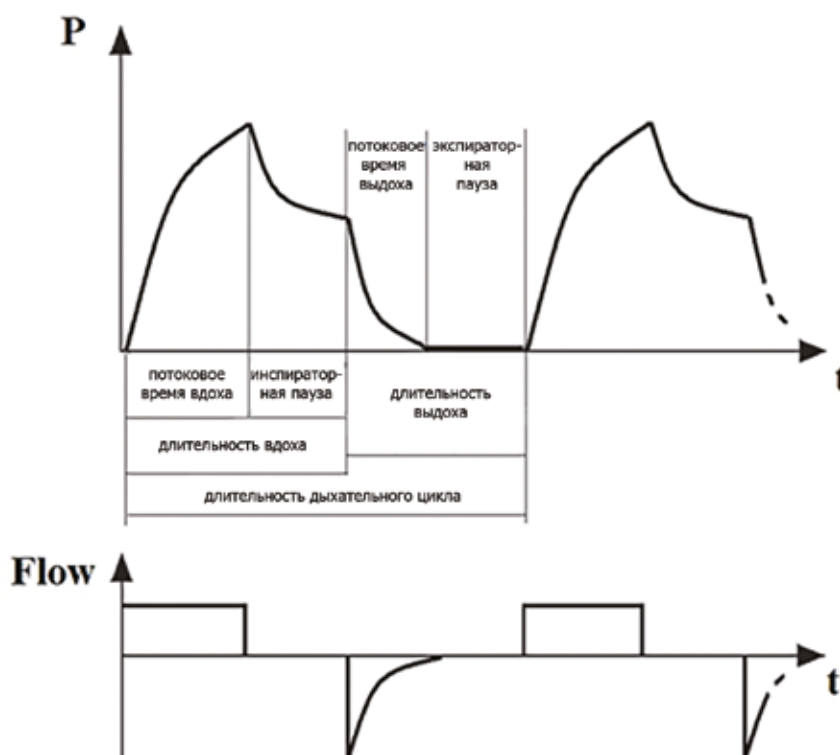


Рис. 3. Графики зависимостей давления и потока воздуха в дыхательных путях человека от времени при респираторной поддержке

Источник: разработка автора.

Кроме гипероксии, повреждений эпителия трахеи и бронхов [21, 22], а также сурфактанта альвеол [23, 24] вследствие токсичности кислорода и неадекватного увлажнения [25, 26], неправильно подобранные параметры респираторной поддержки могут приводить к таким повреждениям легких, как баротравма, волюмотравма, ателектотравма и биотравма [18].

К баротравме, представляющей собой разрыв тканей бронхов или легких, ведущей к нарушению газообмена и гипоксии, может привести критическое превышение транспульмонального давления, а именно разности альвеолярного и плеврального давлений. Таким образом, при необходимости создания высокого давления в альвеолах в целях защиты пациента от баротравмы следует минимизировать градиент транспульмонального давления, например, проведением терапии в барокамере.

К волюмотравме, представляющей собой растяжение альвеол, ведущее к накоплению в легких внесосудистой воды, может привести избыточное количество воздушной смеси, вводимое в легкие пациента.

К ателектотравме, представляющей собой возникновение ателектазов, может привести нестабильность альвеол вследствие избыточного или недостаточного увлажнения, изменяющего эластичность легких и качество сурфактанта, в результате чего происходят повторяющиеся циклы спадения и расправления альвеол и, как следствие, повреждение альвеолярного эпителия и обнажение альвеолярной мембраны. В целях защиты пациента от ателектотравмы целесообразным является создание оптимального уровня положительного давления в дыхательных путях в конце выдоха.

К биотравме, представляющей собой каскад биохимических реакций в организме, приводящих к развитию системного воспалительного ответа на механическое воздействие, может привести агрессивная респираторная поддержка.

Таким образом, в результате анализа особенностей проведения кислородной терапии в целях обеспечения эффективности и безопасности лечения дыхательной недостаточности и абстинентного синдрома представляется обоснованным персонализированный подбор и коррекция следующих параметров кислородной терапии:

- скорость подачи воздушной смеси, обогащенной кислородом;
- давление, создаваемое воздушной смесью, обогащенной кислородом;
- время воздействия воздушной смеси, обогащенной кислородом, на пациента.

Разработка и обоснование набора клинических показателей гомеостаза для построения биотехнической модели подбора и коррекции параметров кислородной терапии. Подбор режима респираторной поддержки при дыхательной недостаточности и коррекция его параметров являются динамическим процессом. Первоначально осуществляется быстрая клиническая оценка по принципу ABCD [27]:

- 1) A (Airway) — оценка проходимости дыхательных путей;
- 2) B (Breathing) — оценка эффективности дыхания, частоты дыхательных движений, глубины и ритма дыхания, участия вспомогательной мускулатуры;
- 3) C (Circulation) — оценка кровообращения, частоты сердечных сокращений, артериального давления, пульса, температуры;
- 4) D (Disability) — оценка уровня сознания, степени гипоксии (возбуждение, беспокойство, спутанность сознания), степени гиперкапнии (сонливость, тремор, головная боль).

На втором этапе проводится углубленное обследование, включающее:

1. Лабораторные методы исследования:

1.1. Газовый состав артериальной крови позволяет определить тип дыхательной недостаточности: гипоксемическая (I тип): $P_aO_2 < 60$ мм рт. ст. при нормальном или низком P_aCO_2 или гиперкапническая (II тип): $P_aCO_2 > 50$ мм рт. ст. (часто сочетается с гипоксемией), оценить кислотно-щелочное состояние: pH, бикарбонаты (метаболическая компенсация респираторного ацидоза).

1.2. Общий и биохимический анализы крови позволяют определить лейкоцитоз, свидетельствующий о наличии инфекции (пневмония); анемию, усугубляющую кислородтранспортную функцию крови; полицитемию, указывающую на хроническую гипоксию; оценить функцию почек.

2. Инструментальные методы исследования:

- электрокардиография;
- рентгенография органов грудной клетки;
- компьютерная томография легких и органов грудной клетки;
- ультразвуковое исследование легких;
- спирометрия и пикфлоуметрия.

Например, нарастание таких частотных показателей variability сердечного ритма, как Low Frequency (LF), Very Low Frequency (VLF), Standard Deviation of NN intervals (SDNN), регистрируемых с помощью холтеровского мониторинга ЭКГ во время сна, свидетельствует о наличии синдрома обструктивного апноэ сна (чувствительность 89,7–90,0 % [28]) [29]. Кроме того, на синдром обструктивного апноэ сна может указывать отсутствие физиологического снижения или даже подъем артериального давления в ночной период [30], эпизоды циклического ограничения воздушного потока, фиксируемые во время спирографии как на вдохе, так и на выдохе [31], признаки легочной гипертензии, перегрузки правых отделов сердца с развитием ремоделирования правого желудочка, обнаруживаемые при эхокардиографическом исследовании [28].

Важно отметить, что динамическое исследование приведенных показателей имеет большее значение, чем однократный анализ.

Таким образом, в качестве информативных показателей гомеостаза, отражающих изменяющееся состояние пациента, на основании мониторинга которых биотехнической моделью будет осуществляться персонализированное управление скоростью подачи, создаваемым давлением и временем воздействия воздушной смеси, обогащенной кислородом, предлагается использовать следующие:

1. P_aO_2 , так как позволяет оценить:
 - степень тяжести гипоксемии в соответствии с критериями дыхательной недостаточности (табл. 1);
 - эффективность газообмена в легких и выявить причины гипоксемии путем анализа альвеоло-артериального градиента по кислороду (табл. 2) и индекса оксигенации (P_aO_2/FiO_2) (табл. 3);
 - адекватность оксигенотерапии и респираторной поддержки, достичь целевого диапазона P_aO_2 путем титрования параметров ее проведения, избегая как гипоксемии, так и гипероксии;
 - эффективность доставки кислорода к тканям.

Таблица 1

Дыхательная недостаточность: классификация по степени тяжести

Степень	P_aO_2 , мм рт. ст.	S_aO_2 , %
Норма	> 80	> 95
I степень	60–79	90–94
II степень	40–59	75–89
III степень	< 40	< 75

Источник: разработка автора.

Таблица 2

Зависимость альвеоло-артериального градиента по кислороду от возраста

Возраст, лет	P_aO_2 , мм рт. ст.	$A - a(PO_2)$, мм рт. ст.
20	84–95	4–17
30	81–92	7–21
40	78–90	10–24
50	75–87	14–27
60	72–84	17–31
70	70–81	21–34
80	67–79	25–38

Источник: разработка автора.

Таблица 3

Клинические значения индекса оксигенации

Индекс оксигенации, мм рт. ст.	Интерпретация
> 400	норма
≤ 300	критерий острого повреждения легких
≤ 200	критерий острого респираторного дистресс-синдрома

Источник: разработка автора.

2. Частота сердечных сокращений, так как позволяет оценить:

- функциональное состояние сердечно-сосудистой системы, задействование компенсаторных механизмов при дыхательной недостаточности;
- нарушения ритма сердца: тахикардии, брадикардии, экстрасистолии;
- адекватность вегетативной регуляции, баланс симпатического и парасимпатического тонусов, вариабельность сердечного ритма;
- реакцию на стресс, физическую нагрузку и боль;
- эффективность терапии.

3. Частота дыхания, так как позволяет оценить:

- адекватность газообмена, задействование компенсаторных механизмов при дыхательной недостаточности;
- работу дыхательного центра и механики дыхания, вид нарушения паттерна дыхания:
 - по частоте: тахипноэ — учащение частоты дыхания сверх нормы (для взрослых более 20–25 в минуту) при насыщении крови углекислым газом, критическом снижении уровня кислорода, сердечной недостаточности; брадипноэ — урежение частоты дыхания ниже нормы (для взрослых менее 12 в минуту) при угнетении дыхательного центра, тяжелой гипоксии;
 - глубине: гиперпноэ — увеличение глубины дыхания при уменьшении процентного содержания кислорода в воздухе; гипопноэ — уменьшение глубины или замедление дыхания;
 - ритму: апноэ — полная остановка дыхания на 10 с и более при обструкции дыхательных путей, низкой возбудимости дыхательного центра; периодическое дыхание Чейна — Стокса, Биота;
- уровень системного стресса, боли и метаболических нарушений;
- эффективность терапии.

4. pH крови, так как позволяет оценить:
- баланс между кислотами и основаниями в организме;
 - тяжесть нарушения гомеостаза (pH < 7,35 — ацидоз, pH > 7,45 — алкалоз) и его тип (респираторный или метаболический);
 - компенсаторные возможности организма;
 - эффективность респираторной поддержки.
5. Температура тела, так как позволяет оценить:
- тяжесть состояния и динамику инфекционно-воспалительного процесса;
 - адекватность работы центра терморегуляции;
 - функцию вегетативной нервной системы и метаболизма;
 - эффективность проводимого лечения.

Результаты исследований и их обсуждение. Необходимость подбора и коррекции скорости, давления и времени воздействия воздушной смеси, обогащенной кислородом, на пациента обусловлена следующим:

1. Слишком большой дыхательный объем способен оказать травмирующее действие на легочную ткань, что критично при уже имеющемся повреждении легких. В противоположность этому, недостаточный объем приводит к неэффективному газообмену, так как вентилируется в основном мертвое пространство. Логическим следствием малого дыхательного объема является необходимость увеличения частоты дыханий с целью поддержания минутной вентиляции, а при избыточном дыхательном объеме частота, как правило, снижается. Важно учитывать, что рост частоты дыханий неизбежно сокращает продолжительность фазы выдоха. Управляя скоростью подачи воздушной смеси и временем воздействия, возможно управлять дыхательным объемом (рис. 4).

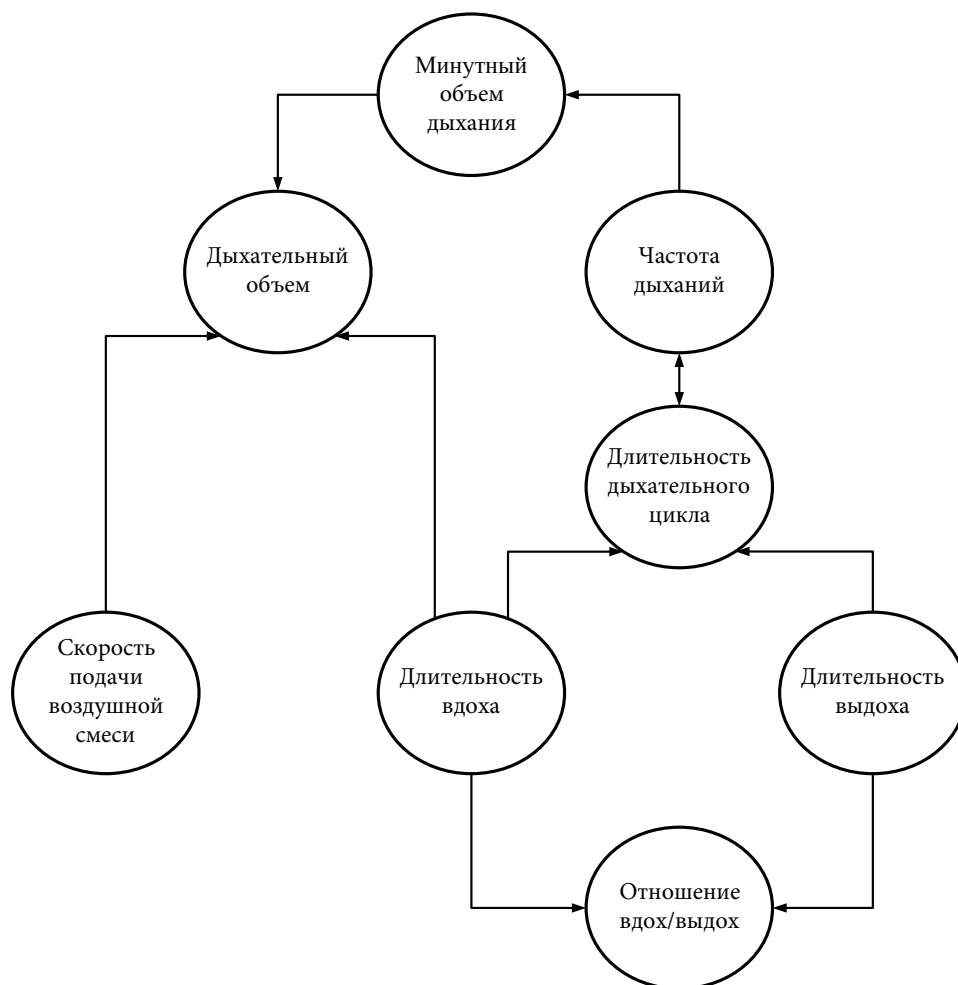


Рис. 4. Схема модели управления дыхательным объемом посредством коррекции скорости подачи и времени воздействия воздушной смеси

Источник: разработка автора.

Объем и скорость подачи воздушной смеси связаны соотношением:

$$V_t = \dot{V} * T_i, \tag{1}$$

где V_t — дыхательный объем;
 \dot{V} — скорость подачи воздушной смеси;
 T_i — длительность вдоха.

В то же время поток воздушной смеси согласно закону Гагена — Пуазеля [32] создается градиентом транспульмонального давления, который прямо пропорционален скорости потока воздушной смеси и ее вязкости и обратно пропорционален четвертой степени радиуса дыхательных путей, в связи с чем увеличение содержания кислорода в подаваемой пациенту воздушной смеси приводит к увеличению ее вязкости и, соответственно, требует увеличения градиента давления для поддержания той же скорости потока воздушной смеси. Увеличение градиента давления также требуется при сужении дыхательных путей, поскольку даже небольшое уменьшение их диаметра приводит к резкому увеличению сопротивления.

2. Управление скоростью подачи воздушной смеси в целях достижения необходимого дыхательного объема возможно путем изменения давления в дыхательных путях, величина которого зависит от резистанса и комплайанса, при этом возникает опасность ее критически высокого уровня. Для предотвращения баротравмы и волюмотравмы необходимо управление давлением воздушной смеси (рис. 5).

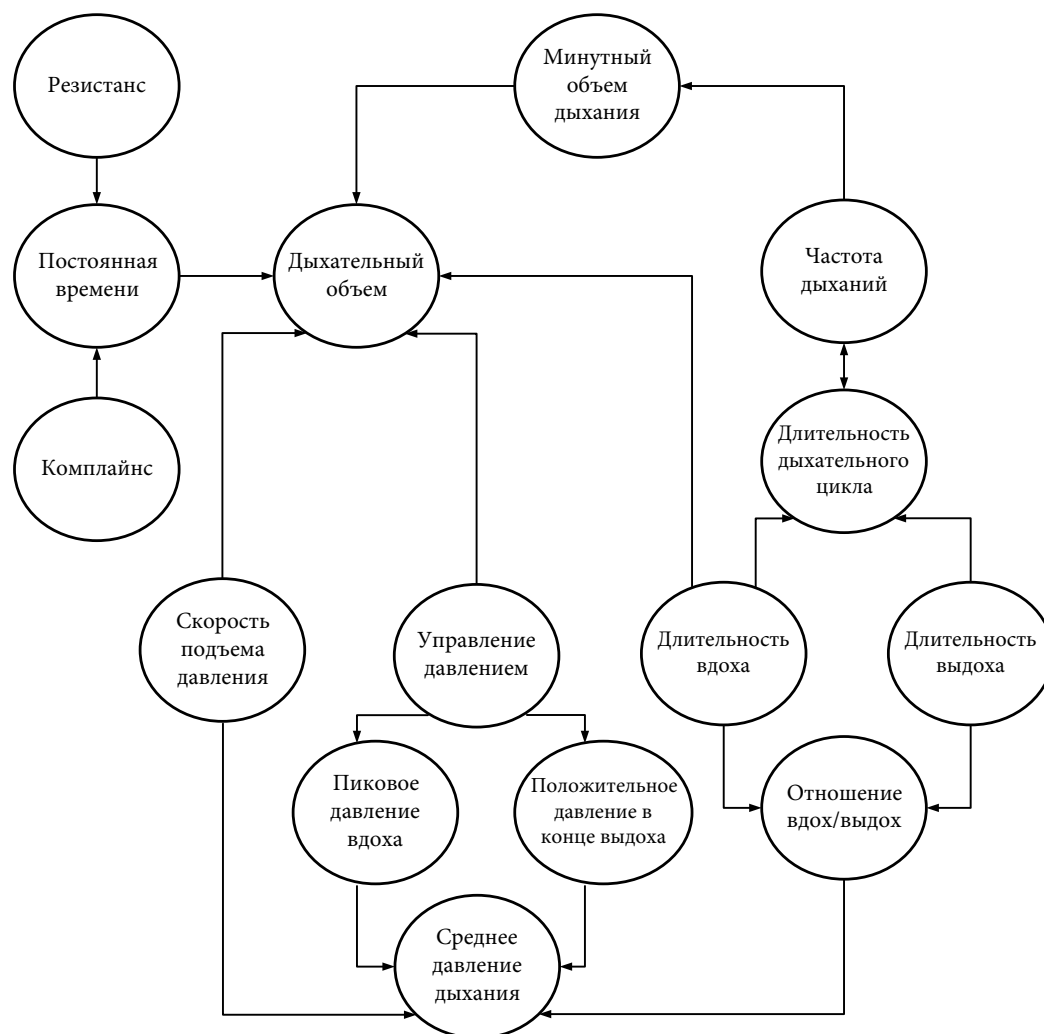


Рис. 5. Схема модели управления дыхательным объемом посредством коррекции давления воздушной смеси

Источник: разработка автора.

В свою очередь, мониторинг P_aO_2 позволит диагностировать тип и причину дыхательной недостаточности, оценить тяжесть поражения легких, определить тактику респираторной поддержки и проконтролировать ее эффективность, тем самым непосредственно влияя на прогноз пациента. Мониторинг частоты сердечных сокращений позволит оценить функцию сердца, состояние вегетативной нервной системы, адекватность кровообращения.

Мониторинг частоты дыхания позволит оценить функцию легких, состояние кислотно-щелочного равновесия, работу центральной нервной системы и общий уровень стресса организма.

Мониторинг pH крови позволит определить тип, тяжесть и причину нарушения гомеостаза, оценить компенсаторные возможности организма и эффективность проводимой интенсивной терапии, напрямую влияя на тактику ведения критических состояний.

Мониторинг температуры тела позволит узнать о наличии и характере воспаления, адекватности работы центральных регуляторных систем, тяжести состояния и эффективности лечения.

Заключение. Обоснована необходимость корректного подбора параметров проведения кислородной терапии как при дыхательной недостаточности, так и в комплексном лечении алкоголизма. Персонализированный подбор параметров подачи кислорода пациенту снижает нагрузку на дыхательную мускулатуру, улучшает газообмен, качество сна, снижает риск обострений и повышает выживаемость. Нарушение режима, дозировки и игнорирование индивидуальных параметров пациента при этом чревато развитием гипероксии и осложнений, таких как баротравма, волюмотравма, ателектотравма и биотравма. В связи с этим обоснована необходимость непрерывного контроля и персонализированной коррекции следующих ключевых параметров респираторной поддержки:

- скорость подачи обогащенной кислородом воздушной смеси;
- создаваемое давление;
- время воздействия.

Для реализации адаптивного управления разработан набор информативных клинико-физиологических показателей, отражающих текущее состояние гомеостатических систем пациента:

- парциальное давление кислорода в артериальной крови;
- кислотно-щелочное состояние артериальной крови;
- частота дыхательных движений;
- частота сердечных сокращений;
- температура тела.

Мониторинг данного набора показателей позволяет учитывать компенсаторно-приспособительные реакции организма на гипоксию и является необходимой основой для синтеза биотехнической модели с обратной связью, предназначенной для автоматизированного персонализированного управления параметрами кислородотерапии (скоростью, давлением и временем воздействия).

Список цитируемых источников:

1. Стратегия «Наука и технологии: 2018–2040»: доклад на Втором съезде ученых Республики Беларусь / Национальная академия наук Беларуси. — Минск: Белорусская наука, 2017. — 44 с. — Утверждена Постановлением Президиума Национальной академии наук Беларуси от 26.02.2018 № 17.
2. Модельный закон о технологиях искусственного интеллекта: утвержден постановлением Межпарламентской Ассамблеи государств — участников СНГ «О модельном законе “О технологиях искусственного интеллекта”» от 18 апреля 2025 г. № 58-8 / Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси. — Минск: Белорусская наука, 2025. — 30 с.
3. Зельманский, О. Б. Аппаратно-программный комплекс для раннего выявления болезней органов дыхания, отягощенных дыхательной недостаточностью и синдромом апноэ-гипопноэ / О. Б. Зельманский, В. А. Богуш // Доклады БГУИР. — 2025. — № 1 (23). — С. 22–29.
4. Chu, D. K. Mortality and morbidity in acutely ill adults treated with liberal versus conservative oxygen therapy (IOTA): a systematic review and meta-analysis / D. K. Chu, L. H. Kim, P. J. Young [et al.] // The Lancet. — 2018. — Vol. 391, № 10131. — P. 1693–1705. — DOI: 10.1016/S0140-6736(18)30479-3.
5. Austin, M. A. Effect of high flow oxygen on mortality in chronic obstructive pulmonary disease patients in prehospital setting: randomised controlled trial / M. A. Austin, K. E. Wills, L. Blizzard [et al.] // BMJ. — 2010. — Vol. 341. — P. c5462. — DOI: 10.1136/bmj.c5462.
6. L’Her, E. Automated closed-loop versus standard manual oxygen administration after major abdominal or thoracic surgery: an international multicentre randomised controlled study / E. L’Her, S. Jaber, D. Verzilli [et al.] // Eur. Respir. J. — 2021. — Vol. 57, No. 1. — P. 2000182. — DOI: 10.1183/13993003.00182-2020.
7. Lellouche, F. Automated oxygen titration and weaning with FreeO2 in patients with acute exacerbation of COPD: a pilot randomized trial / F. Lellouche, P. A. Bouchard, M. Roberge [et al.] // Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis. — 2016. — Vol. 11, No. 1. — P. 1983–1990. — DOI: 10.2147/COPD.S112820.

8. Kofod, L. M. Effect of Automated Oxygen Titration during Walking on Dyspnea and Endurance in Chronic Hypoxemic Patients with COPD: A Randomized Crossover Trial / L. M. Kofod, E. Westerdahl, M. T. Kristensen [et al.] // *J. Clin. Med.* — 2021. — Vol. 10, No. 21. — P. 4820. — DOI: 10.3390/jcm10214820.
9. Авдеев, С. Н. Дыхательная кислородная терапия при хронической недостаточности / С.Н. Авдеев. — М.: ФГУ «НИИ Пульмонологии» Росздрава, 2011. — 16 с.
10. Инструкция по применению кислородотерапии при хронических обструктивных болезнях легких: утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 01.07.05. — Минск: Дикта, 2005. — 10 с.
11. Lellouche, F. Automated Oxygen Titration and Weaning with FreeO2 in Patients with Acute Exacerbation of COPD: A Pilot Randomized Trial / F. Lellouche, P.-A. Bouchard, S. Simard, E. L'Her, M. Wysocki // *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease.* — 2020. — Vol. 15. — P. 339–351. DOI: 10.2147/COPD.S232740.
12. Chu, D. K. Mortality and morbidity in acutely ill adults treated with liberal versus conservative oxygen therapy (IOTA): a systematic review and meta-analysis / D. K. Chu, L. H. Kim, P. J. Young, N. Zamiri, S. A. Almenawer, R. Jaeschke, W. Szczeklik, H. J. Schünemann, J. D. Neary, W. Alhazzani // *Lancet.* — 2018. — Vol. 391, No. 10131. — P. 1693–1705. DOI: 10.1016/S0140-6736(18)30479-3.
13. Austin, M. A. Effect of high flow oxygen on mortality in chronic obstructive pulmonary disease patients in prehospital setting: randomised controlled trial / M. A. Austin, K. E. Wills, L. Blizzard, E. H. Walters, R. Wood-Baker // *BMJ.* — 2010. — Vol. 341. — P. c5462. DOI: 10.1136/bmj.c5462.
14. Jarosch, I. Short-term Effects of Supplemental Oxygen on 6-Min Walk Test Outcomes in Patients With COPD: A Randomized, Placebo-Controlled, Single-blind, Crossover Trial / I. Jarosch, R. Gloeckl, E. Damm, A. L. Schwedhelm, D. Buhrow, A. Jerrentrup, M. A. Spruit, K. Kenn // *Chest.* — 2017. — Vol. 151, No. 4. — P. 795–803. — DOI: 10.1016/j.chest.2016.11.044.
15. Magnet, F.S. Capillary PO2 does not reflect arterial PO2 in hypoxemic COPD patients / Friederike Sophie Magnet, Daniel Sebastian Majorski, Jens Callegari, Sarah Bettina Schwarz, Claudia Schmoor, Wolfram Windisch, Jan Hendrik Storre // *International Journal of COPD.* — 2017. — Vol. 12. — P. 2647–2653. — DOI: 10.2147/COPD.S140843.
16. Casaburi, R. A brief history of pulmonary rehabilitation / R. Casaburi // *Respiratory Care.* — 2008. — Vol. 53, No. 9. — P. 1185–1189. — PMID: 18718037.
17. Grensemann, J. Oxygen Treatment in Intensive Care and Emergency Medicine / J. Grensemann, V. Fuhrmann, S. Kluge // *Deutsches Ärzteblatt International.* — 2018. — Vol. 115, No. 27–28. — P. 455–462. — DOI: 10.3238/arztebl.2018.0455.
18. Горячев А. С. Основы ИВЛ: руководство для врачей / А. С. Горячев, И. А. Савин. — 7-е изд. — М.: Аксиом графикс юнион, 2017. — 260 с.
19. Esquinas, A. M. Mechanical Ventilators for Non-Invasive Ventilation: Principles of Technology and Science / A. M. Esquinas. — New York: Nova Science Publishers, Inc., 2020. — 599 p.
20. Chatburn, R. L. Fundamentals of Mechanical Ventilation: A Short Course on the Theory and Application of Mechanical Ventilators / R. L. Chatburn. — 2nd ed. — Cleveland: Mandu Press Ltd., 2004. — 250 p.
21. MacIntyre, N. R. Mechanical Ventilation / N. R. MacIntyre, R. D. Branson. — 2nd ed. — St. Louis: Saunders Elsevier, 2009. — 249 p.
22. Tobin, M. J. Principles and Practice of Mechanical Ventilation / ed. by M. J. Tobin. — 2nd ed. — New York: The McGraw-Hill Companies, 2006. — 1594 p.
23. Сатишур, О. Е. Механическая вентиляция легких / О. Е. Сатишур. — М.: Медицина, 2006. — 184 с.
24. Hess, D. R. Essentials of Mechanical Ventilation / D. R. Hess, R. M. Kacmarek. — 2nd ed. — New York: McGraw-Hill, 2002. — 320 p.
25. International Organization for Standardization (ISO). ISO 80601-2-74:2019 Medical electrical equipment — Part 2-74: Particular requirements for basic safety and essential performance of respiratory humidifying equipment. — 2nd ed. — Geneva: ISO, 2019. — 102 p.
26. Министерство здравоохранения Республики Беларусь. Респираторная поддержка у взрослых [Электронный ресурс]: клинический протокол // Приказ Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 10.11.2023 № 915 «Об утверждении клинических протоколов». — Минск, 2023. — URL: <https://www.minzdrav.gov.by/ru/dlya-beloruskikh-grazhdan/klini-protokoly-ru> (дата обращения: 23.05.2024).
27. Скорая медицинская помощь: национальное руководство / под ред. С. Ф. Багненко, М. Ш. Хубутя, И. П. Миннуллина. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2021. — 944 с. — ISBN 978-5-9704-5891-7.
28. Пак, А. М. Синдром обструктивного апноэ сна: метод. пособие / А. М. Пак. — Астана: Филиал «Научный центр научно-технической информации», 2014. — 70 с.
29. Chazal, P. Multimodal detection of sleep apnoea using electrocardiogram and oximetry signals / P. de Chazal, C. Heneghan, E. Sheridan, et al. // *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences.* — 2009. — Vol. 367, No. 1887. — P. 369–389. — DOI: 10.1098/rsta.2008.0156.
30. Литвин, А. Ю. Синдром обструктивного апноэ во время сна и артериальная гипертензия / А. Ю. Литвин, И. Е. Чазова // *Consilium medicum. Системные гипертензии.* — 2006. — № 1. — С. 3–11.
31. Campbell, A. H. Flow-volume curve changes in patients with obstructive sleep apnoea and brief upper airway dysfunction / A. H. Campbell, P. A. Guy, P. D. Rochford, et al. // *Respirology.* — 2000. — Vol. 5, No. 1. — P. 11–18. — DOI: 10.1046/j.1440-1843.2000.00217.x.
32. Halliday, D. Fundamentals of Physics / D. Halliday, R. Resnick, J. Walker. — 11th ed. — Hoboken: John Wiley & Sons, 2018. — 1248 p. — ISBN 978-1-119-34151-5.

УДК 621.762

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ В ПОРОШКОВОМ СЛОЕ ПРИ 3D-ПЕЧАТИ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ

INVESTIGATION OF THERMAL INTERACTION OF METALLIC PARTICLES IN A POWDER BED DURING 3D PRINTING BY SELECTIVE LASER MELTING

А. Ф. Ильющенко,

генеральный директор Государственного научно-производственного объединения порошковой металлургии — директор ГНУ «Институт порошковой металлургии имени академика О. В. Романа», академик НАН Беларуси, д-р техн. наук, профессор, г. Минск, Республика Беларусь

А. И. Лецко,

заместитель директора ГНУ «Института порошковой металлургии имени академика О. В. Романа», канд. техн. наук, доцент, докторант Государственного научно-производственного объединения порошковой металлургии, г. Минск, Республика Беларусь

Т. А. Николайчук,

младший научный сотрудник ГНУ «Институт порошковой металлургии имени академика О. В. Романа», соискатель аспирантуры Государственного научно-производственного объединения порошковой металлургии, г. Минск, Республика Беларусь

A. Ilyushchanka,

Director General of the State Scientific and Production Association of Powder Metallurgy — Director of the SSI “O. V. Roman Powder Metallurgy Institute”, Academician of the NAS of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor, Minsk, Republic of Belarus

A. Letsko,

deputy director of the SSI “O. V. Roman Powder Metallurgy Institute”, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Doctoral Candidate of the State Scientific and Production Association of Powder Metallurgy, Minsk, Republic of Belarus

T. Nikolaychuk,

Junior Researcher of the SSI “O. V. Roman Powder Metallurgy Institute”, Postgraduate Student Applicant of the State Scientific and Production Association of Powder Metallurgy, Minsk, Republic of Belarus

Дата поступления в редакцию — 19.03.2026.

В работе показано, что существующие подходы, основанные на решении задачи о точечном тепловом источнике, движущемся по поверхности порошкового слоя, рассматривают порошковое тело как условно сплошную среду с усредненной пористостью и не учитывают насыпную плотность, плотность утряски и межчастичные просветы, что снижает точность определения необходимых режимов 3D-печати. Для повышения вероятности их определения предложено моделирование двухъярусных элементарных ячеек, состоящей из восьми сферических частиц, позволяющих учитывать находящиеся в них пространственные зазоры и предельные для него укладки, представленные ортогональным и гексагональным расположением. Технологические режимы, полученные с учетом моделирования, использованы для получения экспериментальных образцов, изучение которых проведено при использовании сканирующей электронной микроскопии, которые и послужили опосредованным доказательством работоспособности моделирования.

The work demonstrates that existing approaches based on solving the problem of a point heat source moving over the surface of a powder layer treat the powder body as a conditionally homogeneous medium with averaged porosity and do not account for bulk density, compaction density, and interparticle voids. This reduces the accuracy of determining the necessary parameters for 3D printing. To improve the likelihood of accurately identifying these parameters, modeling of two-tier elementary cells composed of eight spherical particles has been proposed, allowing consideration of the spatial gaps within them and the packing limits, represented by orthogonal and hexagonal arrangements. The technological regimes obtained through modeling were used to produce experimental samples, which were examined using scanning electron microscopy. These studies served as indirect evidence of the effectiveness of the modeling approach.

Ключевые слова: 3D-печать, селективное лазерное сплавление, численное моделирование, взаимодействие частиц.

Keywords: 3D printing, selective laser melting, numerical simulation, particle interaction.

Введение. На современном, неуклонно растущем и расширяющем сферу своего применения, металлургическом аддитивном производстве широко используются аддитивные технологии, основанные на различных методах металлургической 3D-печати порошковых материалов и изделий. В соответствии с указами Президента Республики Беларусь № 156 от 07.05.2020 (пункт 4) [1] и № 135 от 01.04.2025 (пункт 2) [2] эти технологии относятся к одним из приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности Республики Беларусь. Среди методов металлургической 3D-печати особое место занимает селективное лазерное сплавление (СЛС) как наиболее перспективное. Это вызвано в первую очередь тем, что использование при его реализации нескольких лазерных источников, а также увеличение рабочей зоны 3D-печати позволяют не только повысить производительность выпускаемых 3D-принтеров, но и снизить вероятность возникающих термических напряжений за счет уменьшения локальных перепадов температур при условии использования подогрева порошкового слоя. Для снижения вероятности возникновения этих напряжений на стадии подготовки к 3D-печати используется предварительное численное моделирование, которое основывается на проведении соответствующих модельных исследований. В этой связи целью настоящей работы является исследование процесса теплового взаимодействия частиц, возникающего при воздействии потока лазерного излучения, с использованием учитывающих геометрию укладки и межчастичные зазоры порошковых ячеек, находящихся внутри порошкового слоя при 3D-печати методом СЛС.

Анализ используемых методов моделирования и основы формирования порошкового слоя. Известно [3–10], что с точки зрения подвода и уплотнения металлического порошка, как правило, используют два основных подхода на пути к получению порошкового материала: первый из них называют прямым осаждением материала в зоне формирования (англ. *Direct Deposition*), а другой — послойным формированием порошкового слоя (англ. *Bed Deposition*). Общеизвестная функциональная схема их действия представлена на рис. 1.

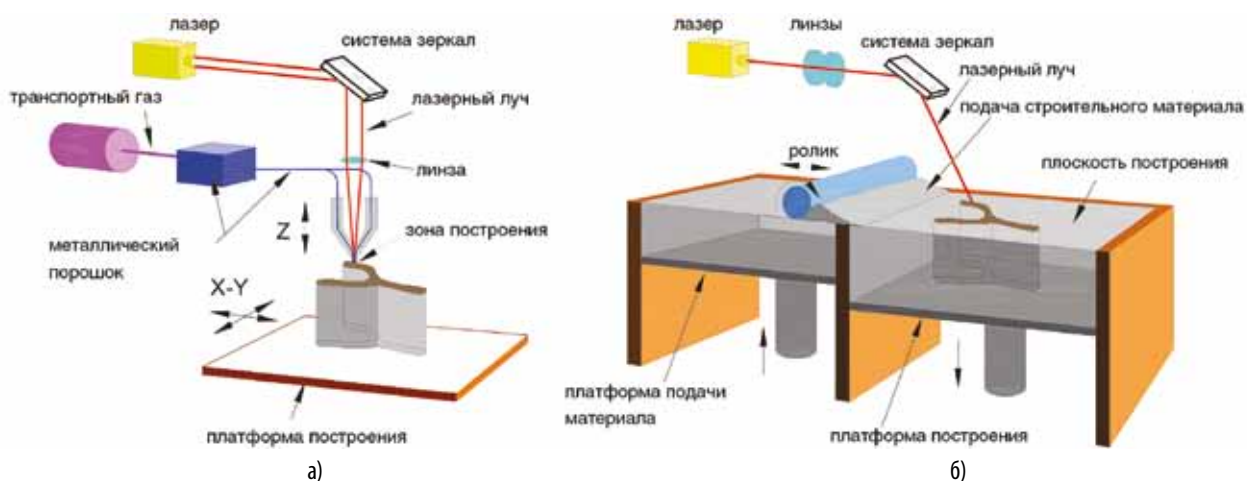


Рис. 1. Общеизвестные функциональные схемы аддитивных технологий: а — прямого осаждения материала в зону формирования изделия; б — послойного формирования в порошковом слое

Источник: разработка авторов.

Использование подхода *прямого осаждения материала* в сравнении с послойным формированием порошкового слоя характеризуется повышенными энергозатратами и количеством степеней свободы, обеспечивающих многокоординатное перемещение печатающей головки и синхронизацию подачи порошка, что приводит к росту кинематической сложности системы, включая совокупную вероятность возникновения позиционных и технологических погрешностей, обусловленных люфтами, динамическими отклонениями, инерционностью приводов и неточностями синхронизации.

Использование подхода *послойного формирования порошкового слоя* заданной толщины позволяет снизить вероятность возникновения кинематической погрешности в связи с тем, что траектория сплавления слоя осуществляется при использовании двухкоординатного перемещения источника энергии. Такой подход позволяет увеличивать производительность 3D-принтеров за счет одного из двух критериев: либо увеличения количества

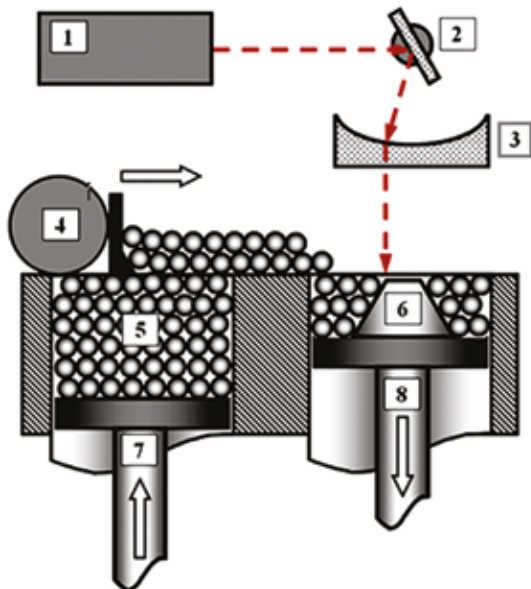


Рис. 2. Функциональная схема метода СЛС: 1 — источник лазерного излучения; 2 — система поворота зеркал; 3 — F-Theta-линза; 4 — роликовый скрепер; 5 — используемый порошок; 6 — порошок или изделие; 7 — платформа подачи порошка; 8 — платформа 3D-печати

Источник: разработка авторов.

Традиционные подходы, основанные на решении задач о точечном тепловом источнике, движущемся по поверхности порошкового слоя, не позволяют учитывать особенности структуры, формируемой на платформе 3D-печати. Их решение в классическом представлении [3–9, 11–17] зачастую сводится к тому, что порошковый слой представляют как некоторое пористое порошковое тело с учетом как подвижного, так и неподвижного лазерного точечного или распределенного источника энергии, оказывающего тепловое воздействие либо на платформу 3D-печати, либо на упакованный на ней порошковый слой. Типовая модель представлена на рис. 3.

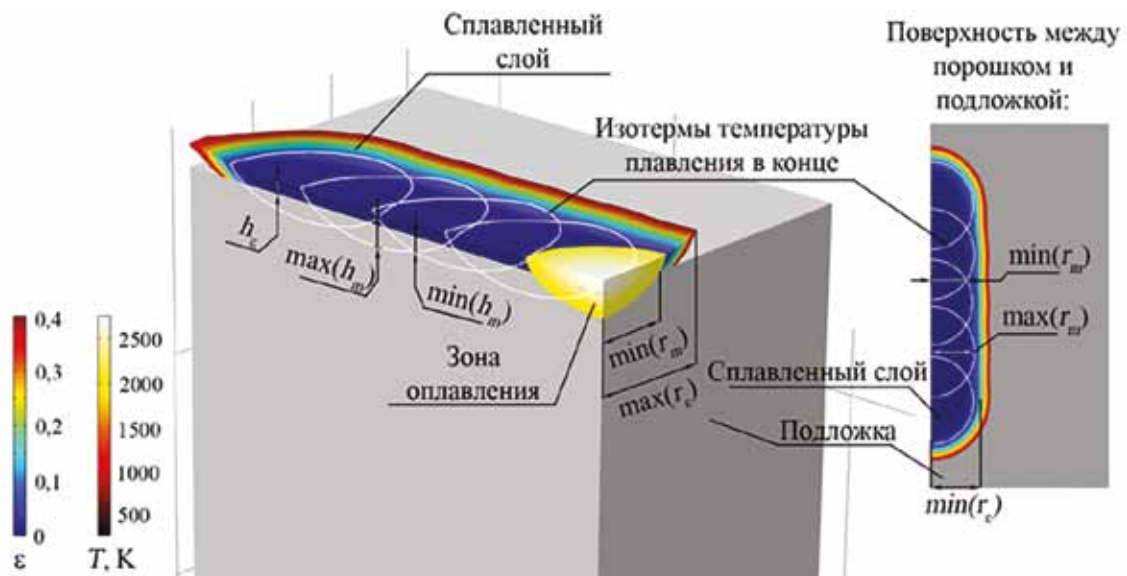


Рис. 3. Визуализация результатов численного моделирования сплавления порошка под действием лазерного излучения

Источник: разработка авторов.

Исходя из представленной на рис. 3 визуализации модели, под сплавленным слоем можно понимать проплавленный слой металлических частиц порошка с образованием единой структуры; под зоной оплавления — область расплавленного металла в рассматриваемый момент времени, во время лазерной обработки металлического порошка, а под сплавленной зоной — область, содержащая ее последствия, в верхней части слоя и направленной вдоль траектории перемещения луча лазера.

В таких и подобных расчетах порошковый слой, как правило [3–9, 11–17], описывается при использовании усредненного параметра коэффициента пористости, что приводит к снижению точности и воспроизводимости результатов численного моделирования, поскольку теряется возможность корректного описания локальных неоднородностей температурного распределения, обусловленных плотностью порошкового слоя и геометрией межчастичных просветов. При таком упрощении теряется возможность корректного описания локальных неоднородностей температурного распределения, возникающих вследствие вариации плотности порошкового слоя, а также геометрии межчастичных просветов.

Другой подход численного моделирования (рис. 4) отражает процесс воздействия теплового потока на отдельную частицу порошка.

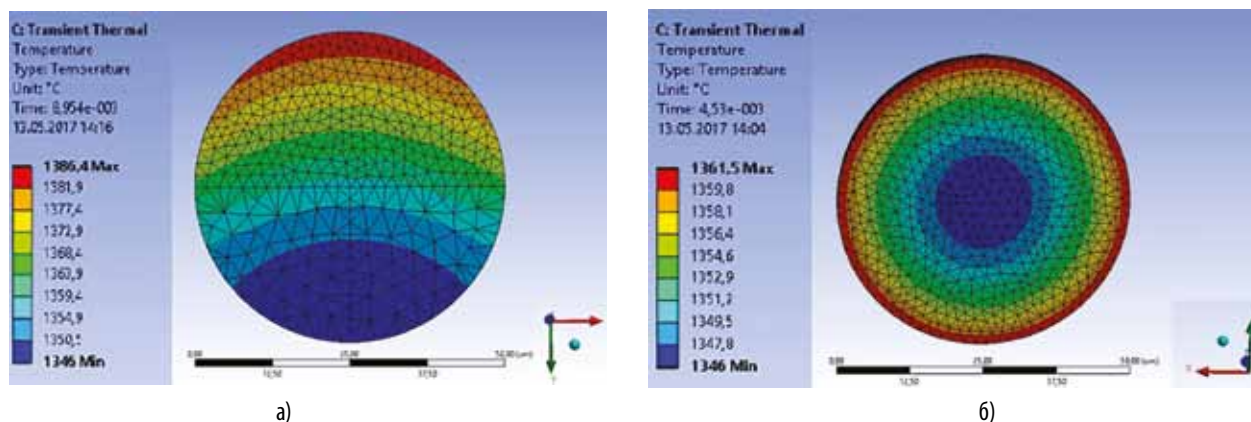


Рис. 4. Модель воздействия теплового потока при СЛС на представленную в виде сферы частицу металлического порошка: а) вид сбоку; б) вид сверху

Источник: [10].

Такая численная модель (см. рис. 4) позволяет учесть распределение температур либо внутри частицы, либо по ее поверхности.

Третий подход численного моделирования основан на формировании температурного поля при его воздействии на так называемую полуячейку [10]. Результат такого моделирования с длительностью излучения, равной 5 мс, представлен на рис. 5.

Особенностью представленной модели является то, что, в отличие от ранее приведенных, она позволяет оценить точечное воздействие температур, проникающих вглубь порошковой ячейки.

В связи с изложенным можно сделать вывод о том, что решение задач о точечном тепловом источнике, движущимся по поверхности сформованного порошкового слоя, в настоящее время не позволяют

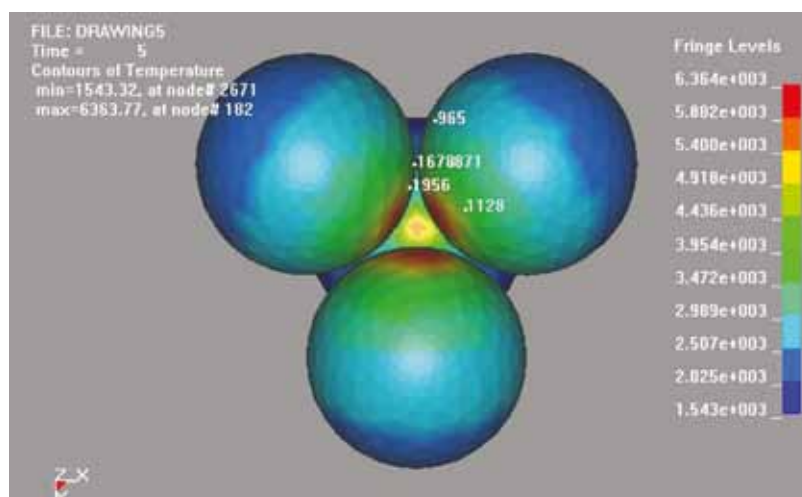


Рис. 5. Модель полуячейки с результатом воздействия температурного поля

Источник: [10].

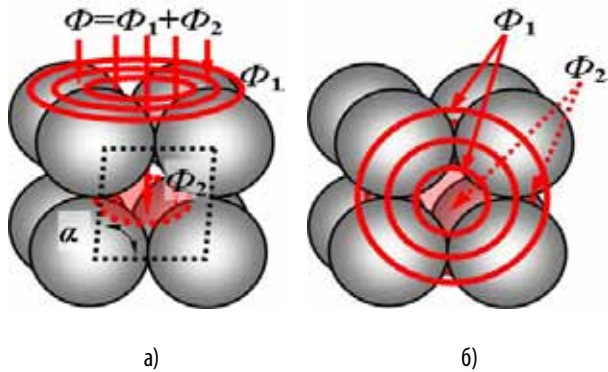


Рис. 6. Схема рассеяния действующего на порошковую ячейку потока лазерного излучения: а) вид сбоку; б) вид сверху

Источник: [10,18–20].

делерования и решения тепловых задач способствует виртуальное выделение в сформованном на платформе 3D-печати порошковом слое виртуальной ячейки, состоящей из восьми частиц металлического сплава, для которой применимы такие понятия, как насыпная плотность, плотность утряски и просвет. Распределение плотности поглощенного излучения на поверхности порошкового слоя определяется геометрией элементарной ячейки, углом укладки частиц и просветом между ярусами. Учитывая, что при 3D-печати методом СЛС, как правило, применяются сферические порошки металлических сплавов, у которых частицы имеют округлую, близкую к шарообразной форму, обеспечивающую им достаточную текучесть, то после формования они будут иметь

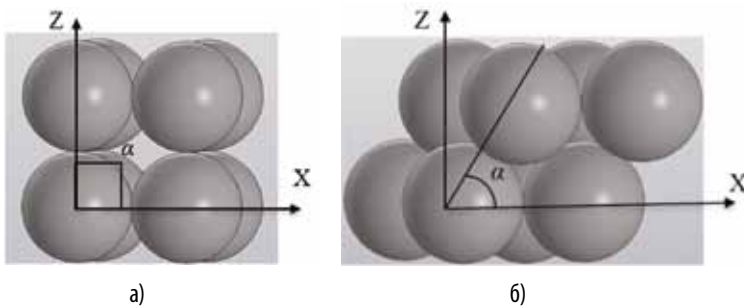


Рис. 7. Модели укладки выделенных в порошковом слое ячеек: а) ортогональная ($\alpha = 90^\circ$); б) гексагональная ($\alpha = 60^\circ$)

Источник: разработка авторов.

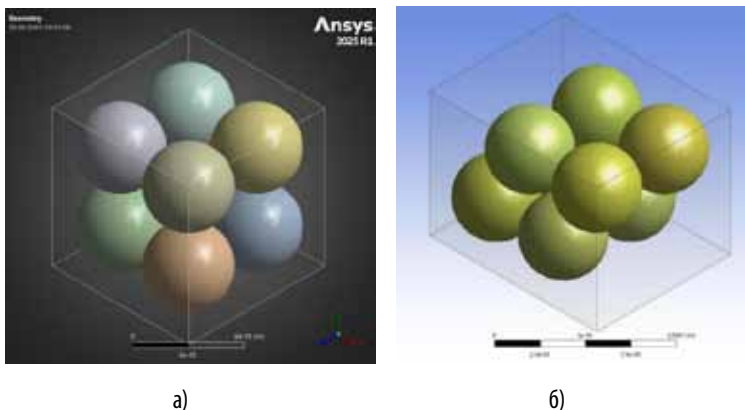


Рис. 8. Модели размещенных в инертной атмосфере порошковых ячеек: а) ортогональная ($\alpha = 90^\circ$); б) гексагональная ($\alpha = 60^\circ$)

Источник: разработка авторов.

на достаточном уровне определять границы удельной мощности лазерного излучения, в пределах которых возможна 3D-печать. Это связано с тем, что традиционные модели не учитывают микроструктуру порошкового слоя и особенности распространения лазерного излучения внутри него. При практическом решении такой задачи в настоящее время не учитываются фактические состояния наносимого на платформу 3D-печати порошкового слоя как сыпучего материала, у которого имеется насыпная плотность, плотность утряски и просвет. Таким образом, при решении тепловых задач о подвижном точечном источнике эти понятия заменяются одним общим показателем пористости порошкового тела, что ограничивает точность их решения.

Моделирование теплового взаимодействия частиц металлических порошков. Повышению точности мо-

делирования и решения тепловых задач способствует виртуальное выделение в сформованном на платформе 3D-печати порошковом слое виртуальной ячейки, состоящей из восьми частиц металлического сплава, для которой применимы такие понятия, как насыпная плотность, плотность утряски и просвет. Распределение плотности поглощенного излучения на поверхности порошкового слоя определяется геометрией элементарной ячейки, углом укладки частиц и просветом между ярусами. Учитывая, что при 3D-печати методом СЛС, как правило, применяются сферические порошки металлических сплавов, у которых частицы имеют округлую, близкую к шарообразной форму, обеспечивающую им достаточную текучесть, то после формования они будут иметь укладку, в которой можно условно выделить двухъярусные элементарные ячейки, упаковка каждой из которых состоит из четырех частиц верхнего и четырех частиц нижнего ярусов. Согласно работам [18–20], схема воздействия потока лазерного излучения может быть представлена в виде рис. 6, а упаковка отдельно взятых ячеек будет иметь размещение, занимающее промежуточное положение между ортогональным ($\alpha = 90^\circ$, рис. 7, а) и гексагональным ($\alpha = 60^\circ$, рис. 7, б) положениями.

С учетом вышеизложенного, при использовании модуля TransientThermal программного комплекса Ansys 2025 R1 проведено численное моделирование процесса взаимодействия частиц на примере порошка титанового сплава ВТ-6 для ортогональной ($\alpha = 90^\circ$, рис. 7, а) и гексагональной ($\alpha = 60^\circ$, рис. 7, б) упаковок, находящихся в оболочках, имитирующих инертную среду.

Как видно на рис. 8, между частицами, относящимися к одной порошковой ячейке, существует просвет Ξ , представляющий собой относительную площадь межчастичных зазоров, через которые проходит поток лазерного излучения.

Если считать, что поток Φ лазерного излучения почти полностью поглощается в пределах порошкового слоя,

то используя зависимость Сликерта, относительные величины потоков Φ_1 и Φ_2 связаны с такими величинами, как Ξ и α следующим образом:

$$\psi_1 = \frac{\Phi_1}{\Phi} = 1 - \Xi = \frac{\pi}{4 \sin \alpha}; \quad (5)$$

$$\psi_2 = \frac{\Phi_2}{\Phi} = \Xi = 1 - \frac{\pi}{4 \sin \alpha}. \quad (6)$$

Учитывая, что при взаимодействии с порошковой поверхностью металлических сплавов из-за возможного отражения частный поток Φ_1 не полностью поглощается частицами, входящими в состав верхнего яруса, при этом из-за возможных внутренних переотражений частный поток Φ_2 , наоборот, практически полностью поглощается частицами, входящими в состав верхнего и нижнего ярусов, граничные условия тепловой задачи формулируются следующим образом.

Поскольку верхняя грань непосредственно воспринимает лазерное излучение, уравнение можно записать в виде:

$$-k \cdot \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{\text{верх}} = q_{\text{верх}} = \Phi_1 = \psi_1 \cdot \Phi; \quad (7)$$

или с учетом выражения для Ξ :

$$-k \cdot \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{\text{верх}} = (1 - \Xi)\Phi. \quad (8)$$

Боковые поверхности не получают прямого лазерного потока, а теплообмен определяется теплопроводностью и конвекцией с окружающей средой. Здесь влияние Φ_2 проявляется опосредованно — через перераспределение энергии внутри порошковой структуры:

$$-k \cdot \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{\text{бок}} = h \cdot (T - T_{\text{окр}}), \text{ при } T_{\text{окр}} = \text{const}. \quad (9)$$

Нижняя грань получает тепловой поток через объемную теплопроводность, а значит, зависит от суммарного перераспределения энергии:

$$-k \cdot \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{\text{низ}} = h_{\text{низ}} \cdot (T - T_{\text{низ}}). \quad (10)$$

Учитывая (5)–(10), получим выражение (11):

$$-k \frac{\partial T}{\partial n} = (1 - \Xi)\Phi \delta_{\text{верх}} + h_{\text{бок}}(T - T_{\text{окр}}) \delta_{\text{бок}} + h_{\text{низ}}(T - T_{\text{низ}}) \delta_{\text{низ}}. \quad (11)$$

Это выражение (11) позволяет учесть распределение температуры в зоне преобразования потока лазерного излучения в его тепловой аналог, исходя из относительной площади возникающих межчастичных зазоров, возникающих при ортогональной и гексагональной укладках частиц, а также механизмов теплообмена на границах их расчетной области. Полученное обобщенное граничное условие в виде выражения (11) позволяет учесть не только геометрические особенности порошковой структуры, характеризующиеся параметром межчастичных зазоров Ξ , так и перераспределение лазерного потока между поверхностным и объемным механизмами теплопереноса. Введение параметра Ξ позволяет описать влияние просветов между частицами на величину эффективной тепловой нагрузки, воспринимаемой верхним слоем порошка.

Если при моделировании взаимодействия частиц в порошковом слое на уровне теплопереноса, возникающего при воздействии потока лазерного излучения, использовать выражения (5)–(11), то при их ортогональной укладке могут быть получены результаты моделирования, представленные на рис. 9, а при гексагональной — на рис. 10. Особенностью такого моделирования также является и то, что при переходе потока лазерного излучения в его тепловой аналог учитывалось наличие инертной атмосферы, заполняющей пространство между частицами порошкового слоя.

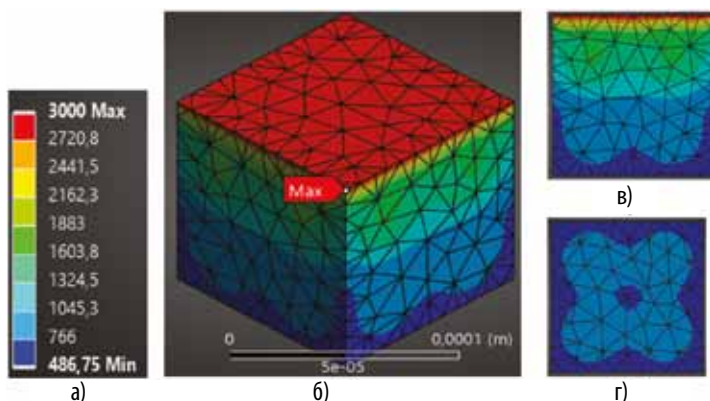


Рис. 9. Результаты моделирования распределения температур по ортогональной ячейке: а) температурный градиент; б) ортогональный вид; в) вид спереди (и сбоку); г) вид снизу

Источник: разработка авторов.

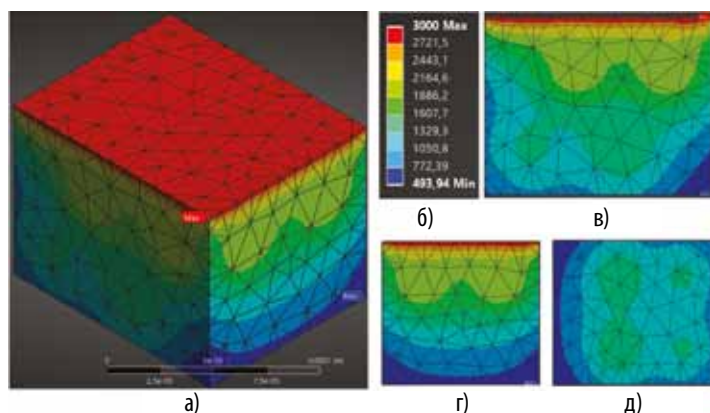


Рис. 10. Результаты моделирования распределения температур по гексагональной ячейке: а) ортогональный вид; б) температурный градиент; в) вид сбоку; г) вид спереди; д) вид снизу

Источник: разработка авторов.

нулометрический и химический состав приведены в табл. 2 и 3, а текучесть и насыпная плотность — в табл. 4 и 5.

Анализ результатов моделирования, приведенных на рис. 8 и 9, позволяет установить влияние перехода из состояния близкого к ортогональной укладке к состоянию близкому к гексагональной укладке, как показатель снижения градиента возникающих температур при переходе потока лазерного излучения в его тепловой аналог. При распределении температур по ортогональной ячейке (см. рис. 8) зазоры между частицами имеют выраженную симметрию и преимущественно прямолинейную форму. Эти зазоры характеризуются меньшей площадью контакта между частицами, вследствие чего теплообмен ограничен узкими зонами соприкосновения. При распределении температур по гексагональной ячейке (см. рис. 9) зазоры имеют сложную пространственную конфигурацию с чередующимися в них треугольными и ромбовидными участками, что способствует формированию дополнительных направлений теплопереноса и возникновению локальных зон сплавления, причем уменьшение ширины зазоров между частицами указывает на увеличение вероятности возникновения капиллярных и термокапиллярных сил от лазерного воздействия.

Результаты практического исследования. Учитывая результаты моделирования, определены представленные в табл. 1 технологические режимы 3D-печати на металлургическом 3D-принтере DMP ProX 300 для лазерного сплавления порошка титанового сплава системы Ti — 6Al — 4V, соответствующей марке BT-6.

Свойства исследуемого материала определены известными методами [21–25]: гранулометрический и химический состав приведены в табл. 2 и 3, а текучесть и насыпная плотность — в табл. 4 и 5.

Таблица 1

Используемые режимы 3D-печати для получения порошковых материалов

Параметр	Значение
Мощность лазера, Вт	275
Скорость прыжка, мм/с	5000
Интервал, нс	85
Диаметр пятна, мкм	100
Толщина слоя порошка, мкм	100
Начальная температура, К	293

Источник: разработка авторов.

Таблица 2

Гранулометрический состав исходного порошка

Характеристика	Содержание		
	не менее 50	40–50	не более 40
Размер частиц, мкм	не менее 50	40–50	не более 40
Доля фракций, %	55,91	42,72	1,37

Источник: разработка авторов.

Таблица 3

Химический состав исходного порошка

Химический элемент	Содержание, %					
	Al	V	Fe	C	Ti	Si
Значение	5,34	3,75	0,244	0,064	87,6	0,09

Источник: разработка авторов.

Таблица 4

Текущность исходного порошка

Диаметр воронки, мм	Размер фракции, мкм	Время, с	Среднее значение	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент вариации
2,5	10–40	не течет	17,53	11,69	66,67
	40–50	24,80			
	10–80	27,81			
5,0	10–40	11,20	9,16	2,44	26,67
	40–50	5,50			
	10–80	10,81			

Источник: разработка авторов.

Таблица 5

Насыпная плотность порошка титанового сплава марки ВТ-6

Номер испытания	1	2	3	4	5
Среднее значение насыпной плотности, кг/м ³	2,70	2,66	2,70	2,67	2,67

Источник: разработка авторов.

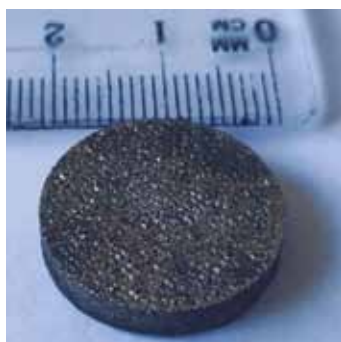


Рис. 11. Внешний вид получаемых после 3D-печати методом СЛС экспериментальных образцов

Источник: разработка авторов.

После 3D-печати вышеуказанным методом получены экспериментальные образцы порошковых материалов, в форме диска со следующими габаритными размерами: диаметром до 20 мм, высотой до 4 мм, средней массой 4,74 г. Средняя плотность полученных образцов составила 4,406 г/мм³. Внешний вид экспериментального образца представлен на рис. 11.

Полученные экспериментальные образцы исследованы методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Результаты при различных увеличениях представлены на рис. 12.

Сравнение полученных результатов СЭМ (см. рис. 12) с результатами проведенного моделирования позволяет установить взаимосвязь на рис. 13 между зонами с повышенными температурами и областями локализации крупных пор, находящихся на поверхности получаемого материала, вблизи областей повышенных температур (рис. 13, а), а также повышенного давления, тогда как участки с пониженной долей сформированных жидких фаз совпадают с зонами вытянутых пор, указывая на неполное смачивание/недостаточную энергоёмкость процесса. Наличие в расчетной ячейке частиц внутри кубической оболочки приводит к локальному перераспределению теплового потока (рис. 13, б): внутренние частицы получают меньше энергии, препятствуя полному сплавлению и способствуя сохранению пористости — аналогично наблюдаемым дефектам (рис. 13, в). Верхняя зона повышенных температур расчетной 3D-модели соответствует области сплавления в экспериментальном образце, где поверхность выглядит сглаженной с округлыми образованиями.

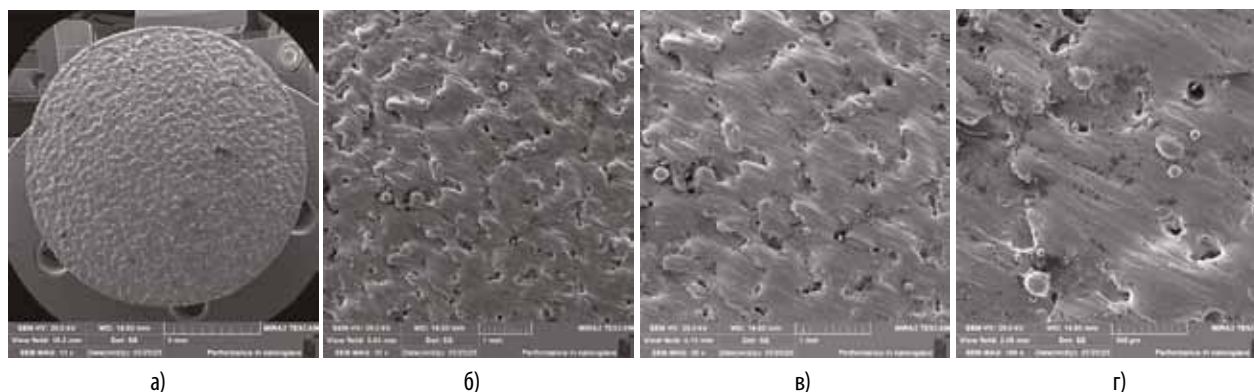


Рис. 12. Результаты СЭМ титанового сплава марки ВТ-6 после СЛС: а) 13х; б) 35х; в) 50х; г) 100х

Источник: разработка авторов.

Учитывая вышесказанное, можно считать, что результаты СЭМ подтверждают работоспособность моделирования и могут быть использованы для подбора необходимых технологических параметров для реализации СЛС при 3D-печати на аддитивном производстве.

Список цитируемых источников:

1. Указ Президента Республики Беларусь от 07 мая 2020 г. № 156 «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы» [Электронный ресурс]. — URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P32000156> (дата обращения 01.04.2025).
2. Указ Президента Республики Беларусь от 1 апреля 2025 г. № 135 «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2026–2030 годы» [Электронный ресурс]. — URL: <https://president.gov.by/ru/documents/ukaz-no-135-ot-1-aprela-2025-g> (дата обращения 01.04.2025).
3. Comparison of powder bed fusion and directed energy deposition for tailoring mechanical properties of traditionally brittle alloys // *Manufacturing Letters*. — 2021. — Vol. 27. — P. 1–5. — DOI: 10.1016/j.mfglet.2021.02.003.
4. A comprehensive review of the methods and mechanisms for powder feedstock handling in directed energy deposition // *Additive Manufacturing*. — 2020. — Vol. 36. — Art. 101388. — DOI: 10.1016/j.addma.2020.101388.
5. Powder Bed Fusion and Direct Deposition in Additive Manufacturing of Metals: Methods, Materials, and Their Properties // *Materials*. — 2022. — Special Issue. — URL: https://www.mdpi.com/journal/materials/special_issues/Y2W6PCJP5O (дата обращения: 02.03.2026).
6. Thermal behavior of coated powder during directed energy deposition (DED) // *Materials Today Communications*. — 2024. — DOI: 10.1016/j.mtcomm.2024.102321.
7. Powder Deposition Systems Used in Powder Bed-Based Multimetal Additive Manufacturing // *Accounts of Materials Research*. — 2021. — Vol. 2, No. 8. — P. 635–646. — DOI: 10.1021/accountsmr.1c00030.
8. Pinkerton A. Advances in the modeling of laser direct metal deposition // *Journal of Laser Applications*. — 2015. — Vol. 27, No. S1. — Art. S15001. DOI: <https://doi.org/10.2351/1.4904117>
9. Liu Y., Zhang X., Wang L., et al. Monitoring and Control of the Direct Energy Deposition (DED) Process: A Review // *Materials*. — 2025. — Vol. 18, No. 2. — Art. 455. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma18020455>
10. Ильющенко, А. Ф. Аддитивные технологии и порошковая металлургия: монография / А. Ф. Ильющенко. — Национальная академия наук Беларуси; Институт порошковой металлургии имени академика О. В. Романа. — Минск: Медисонт, 2019. — 260 с.
11. Рудской, А. И. Аддитивные технологии: учеб. пособие / А. И. Рудской [и др.]. — СПб: С.-Петербург. политехн. ун-т Петра Великого, 2017. — 251 с.
12. Каменев, С. В. Технологии аддитивного производства: учеб. пособие [Текст] / С. В. Каменев, К. С. Романенко. — Оренбург: ОГУ, 2017. — 145 с.
13. Шкуро, А. Е. Технологии и материалы 3D-печати / А. Е. Шкуро, П. С. Кривоногов. — Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. — 99 с.
14. Тарасова, Т. В. Аддитивное производство: учеб. пособие / Т. В. Тарасова. — М.: Станкин, 2019. — 196 с.
15. Аддитивные технологии в производстве изделий аэрокосмической техники / под ред. А.Л. Галиновского. — М.: Юрайт, 2020. — 116 с.
16. Gao, B. A Review of Research Progress in Selective Laser Melting (SLM) / B. Gao, Y. Yang, H. Zhao et al. // *Micromachines*. — 2023. — Vol. 14, No. 1. — Art. 57. DOI: <https://doi.org/10.3390/mi14010057>
17. Yap, C. Y. Review of selective laser melting: Materials and applications / C. Y. Yap, C. K. Chua, Z. L. Dong, Z. H. Liu, D. Q. Zhang, L. E. Loh, S. L. Sing // *Applied Physics Reviews*. — 2015. — Vol. 2, No. 4. — Art. 041101. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.4935926>
18. Белов, С. В. Пористые проницаемые материалы [Текст] / С. В. Белов — М.: Металлургия, 1987. — 335 с.
19. Ильющенко, А. Ф. Математические методы определения необходимых параметров для селективного лазерного сплавления при 3D-печати и упрочнения композиционных материалов с использованием методов термической и горячей газостатической обработки / А. Ф. Ильющенко, А. И. Лецко, Н. М. Парницкий [и др.] // *Перспективы развития аддитивных технологий в Республике Беларусь: доклады Международного научно-практического симпозиума, Минск, 21 сентября 2022 года*. — Минск: Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом “Белорусская наука”», 2022. — С. 61–84. — EDNOOKOLX.
20. Ильющенко, А. Ф. Методические основы моделирования взаимодействия селективным лазерным сплавлением частиц металлических порошков при условии их 3D-печати / А. Ф. Ильющенко, Т. А. Николайчук, А. И. Лецко [и др.] // *Порошковая металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов*. — Минск: РУП «Издательский дом “Белорусская наука”», 2025. — С. 50–59. — EDN DHQCOP.
21. ГОСТ 18318-94 «Порошки металлические. Определение размера частиц сухим просеиванием». — Минск: Госстандарт, 2021. — 11 с.
22. ГОСТ 25849-83 «Порошки металлические. Метод определения формы частиц». — М.: Изд-во стандартов, 1983. — 8 с.
23. ГОСТ 19440-94 «Порошки металлические. Определение насыпной плотности. Часть 1. Метод с использованием воронки. Часть 2. Метод волюмометра Скотта». — Минск: Госстандарт, 2021. — 15 с.
24. ГОСТ 20899-98 «Порошки металлические. Определение текучести с помощью калиброванной воронки (прибора Холла)». — Минск: Госстандарт, 2023. — 8 с.
25. ГОСТ 22662-77 «Порошки металлические. Методы седиментационного анализа». — Минск: Госстандарт, 2013. — 10 с.

УДК 621.95.01

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ ЛЕЗВИЙНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

MULTICRITERIAL OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF FORMING HOLES WITH A BLADED TOOL

О. Н. Шишова,

старший преподаватель МОУВО «Белорусско-Российский университет»,
г. Могилёв, Республика Беларусь

O. Shyshova,

Senior Lecturer of the Interstate Educational Institution of Higher Education "Belarusian-Russian University",
Mogilev, Republic Belarus

Дата поступления в редакцию — 27.03.2026.

В статье рассмотрено применение методов многокритериальной оптимизации для оценки технологических решений при формировании отверстий лезвийным инструментом. Проведен сравнительный анализ методов свертки критериев, Парето-оптимальности, главного критерия, VIKOR и TOPSIS. Показано, что TOPSIS обеспечивает наиболее устойчивые результаты и рекомендуется для выбора рационального технологического процесса. Результаты могут быть использованы при разработке алгоритма автоматизированного выбора технологии на основе генетического алгоритма и TOPSIS.

The article considers the application of multi-criteria optimization methods for evaluating technological solutions in the formation of holes by a blade tool. A comparative analysis of the methods of criteria convolution, Pareto optimality, the main criterion, VIKOR and TOPSIS is carried out. It is shown that TOPSIS provides the most stable results and is recommended for the choice of a rational technological process. The results can be used in the development of an automated technology selection algorithm based on a genetic algorithm and TOPSIS.

Ключевые слова: многокритериальная оптимизация, технологический процесс, формирование отверстий, лезвийная обработка, TOPSIS, VIKOR, время обработки, работа резания.

Keywords: multi-criteria optimization, technological process, hole formation, blade machining, TOPSIS, VIKOR, processing time, cutting work.

Введение. Многокритериальная оптимизация представляет собой раздел математического программирования, применяемый при решении задач проектирования технологических процессов, анализа и управления сложными системами в машиностроении, энергетике, транспорте, автоматизированных системах управления и информационных технологиях. В отличие от традиционных задач оптимизации, многокритериальный подход направлен на одновременное улучшение нескольких целевых показателей, противоречивость которых делает необходимым использование специализированных методов поиска и анализа компромиссных решений.

Поскольку наличие конкурирующих целей не позволяет определить единственное «наилучшее» решение без дополнительной информации о предпочтениях лица, принимающего решение (ЛПР), основная задача многокритериальной оптимизации заключается в поиске множества компромиссных вариантов, из которых выбирается наиболее подходящий в конкретной ситуации [1].

За последние десятилетия разработан широкий спектр методов многокритериальной оптимизации [2, 3, 4], включая метод главного критерия и метод свертки критериев, ориентированные на агрегирование показателей эффективности, метод последовательных уступок, позволяющий учитывать их приоритетность, а также метод Парето-оптимальности, применяемый для выявления компромиссных решений. Отдельную группу составляют методы, основанные на оценке близости к идеальному решению (АНР, VIKOR, TOPSIS), обеспечивающие однозначный выбор наиболее предпочтительного варианта обработки. Учитывая выявленные преимущества и ограничения методов, выбор конкретного подхода многокритериальной оптимизации определяется следующими факторами:

- степень формализации задачи: если задача хорошо структурирована, то использовать линейную свертку или метод главного критерия;

– наличие информации о предпочтениях ЛПП: если предпочтения известны заранее, подходит АНР, VIKOR или TOPSIS;

– размерность и сложность задачи: в случае высокой размерности или дискретности переменных лучше всего себя показывают эволюционные и метаэвристические алгоритмы;

– требования к точности и скорости решения: при допустимости приближенных решений можно использовать PSO, АСО или имитацию отжига.

Следовательно, многокритериальная оптимизация — это эффективный инструмент согласования конфликтующих критериев. При выборе рациональной технологии формирования отверстий это особенно важно, поскольку необходимо одновременно учитывать показатели основного времени обработки, работы резания и ресурсозатрат. Достижение оптимума по всем этим критериям возможно далеко не всегда, поэтому применение методов многокритериальной оптимизации позволяет обоснованно определить процесс, обеспечивающий согласование качества обработки, производительности и экономической эффективности, тем самым создавая основу для выбора наиболее рационального технологического решения.

В рамках настоящего исследования особое внимание уделяется анализу и сравнению методов многокритериальной оптимизации для выбора метода, наиболее эффективного при обосновании рациональной технологии формирования отверстий. Таким образом, целью работы является определение наиболее эффективного метода многокритериальной оптимизации для выбора рационального технологического процесса формирования отверстий. Примером применения такого подхода в машиностроении служит работа [5], в которой рассматривается задача выбора рационального способа формирования отверстий на основе анализа различных вариантов технологического процесса. Авторы проводят сравнительный анализ нескольких технологий обработки на основе двух ключевых критериев: основного времени обработки T_o и затраченной работы A , что делает задачу типично многокритериальной.

В качестве целевых параметров оптимизации при последующем анализе используются два показателя — основное время обработки T_o и затраченной работы A , объединяемые в комплексный критерий эффективности технологического процесса формирования отверстий. Такой подход позволяет оценивать производительность технологических операций и выявлять оптимальный баланс между скоростью и энергозатратами процесса.

Объектом исследования выбран фланец с центральным отверстием (см. рисунок), геометрия которого требует последовательного применения различных операций лезвийной обработки. Такая конфигурация детали позволяет рассматривать ее как *типовую* для анализа методов многокритериальной оптимизации.

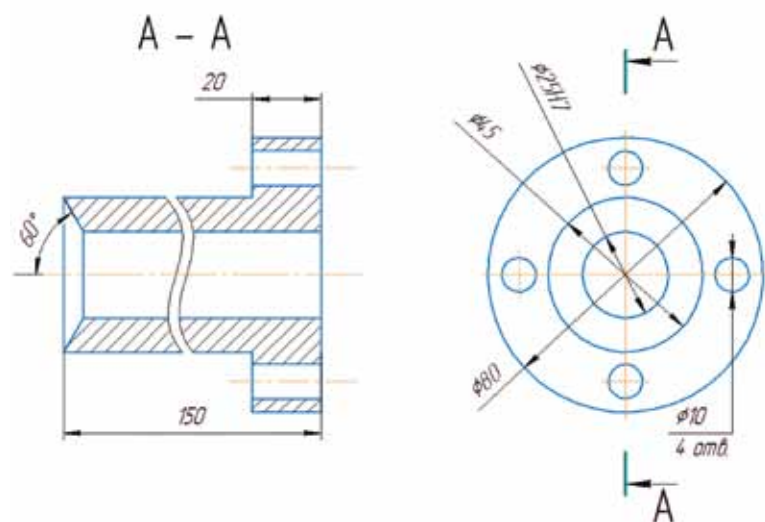
Для отверстия диаметром 25 мм и длиной 150 мм (Ra — 1,6 мкм, точность — Н7, материал — сталь 45) рассмотрены четыре технологические схемы обработки с рассчитанными по справочной литературе [6] режимами резания:

1. Последовательная обработка с применением насадного инструмента: сверление спиральным сверлом $\varnothing 13$ мм ($v = 25$ м/мин, $n = 610$ об/мин, $s = 0,12$ мм/об, $T_o = 2,5$ с, $N = 3,63$ кВт, $A = 9,07$ кДж), последующее рас-
сверливание до $\varnothing 23$ мм ($v = 25$ м/мин, $n = 345$ об/мин, $s = 0,12$ мм/об, $T_o = 2,5$ с, $N = 3,63$ кВт, $A = 9,07$ кДж), зенкерование насадным зенкером до $\varnothing 24,6$ мм ($v = 20$ м/мин, $n = 260$ об/мин, $s = 0,10$ мм/об, $T_o = 1,85$ с, $N = 3,99$ кВт, $A = 7,99$ кДж) и окончательное развертывание насадной разверткой до $\varnothing 25$ мм с обеспечением качества Н8 ($v =$

15 м/мин, $n = 190$ об/мин, $s = 0,08$ мм/об, $T_o = 1,85$ с, $N = 3,24$ кВт, $A = 6$ кДж).

2. Обработка с использованием ступенчатого зенкера: сверление $\varnothing 13$ мм ($v = 25$ м/мин, $n = 610$ об/мин, $s = 0,12$ мм/об, $T_o = 2,5$ с, $N = 3,63$ кВт, $A = 9,07$ кДж), рас-
сверливание до $\varnothing 23$ мм ($v = 25$ м/мин, $n = 345$ об/мин, $s = 0,12$ мм/об, $T_o = 2,5$ с, $N = 3,63$ кВт, $A = 9,07$ кДж) и дальнейшее зенкерование ступенчатым зенкером до $\varnothing 25$ мм ($v = 20$ м/мин, $n = 255$ об/мин, $s = 0,1$ мм/об, $T_o = 0,69$ с, $N = 1,91$ кВт, $A = 1,32$ кДж), что позволяет сократить количество переходов.

3. Обработка с применением шнекового сверла: сверление шнековым сверлом $\varnothing 13$ мм (в соответствии с ТУ 2-035-948-84 и ТУ 2-035-425-75 допускается изготовление инструмента до $\varnothing 14$ мм) с соответствующими режимами



Фланец

Источник: разработка автора.

резания $v = 32$ м/мин, $n = 785$ об/мин, $s = 0,12$ мм/об, $T_o = 2,28$ с, $N = 6,22$ кВт, $A = 14,18$ кДж), затем рассверливание до $\varnothing 23$ мм ($v = 25$ м/мин, $n = 345$ об/мин, $s = 0,12$ мм/об, $T_o = 2,5$ с, $N = 3,63$ кВт, $A = 9,07$ кДж) и последующее зенкерование ступенчатым зенкером до $\varnothing 25$ мм ($v = 20$ м/мин, $n = 255$ об/мин, $s = 0,1$ мм/об, $T_o = 0,69$ с, $N = 1,91$ кВт, $A = 1,32$ кДж).

4. Применение специализированного инструмента повышенной производительности: сверление $\varnothing 23$ мм специальным сверлом со сменной твердосплавной головкой ($v = 35$ м/мин, $n = 485$ об/мин, $s = 0,15$ мм/об, $T_o = 1,5$ с, $N = 18,06$ кВт, $A = 47,15$ кДж), после чего выполняется зенкерование ступенчатым зенкером до $\varnothing 25$ мм ($v = 20$ м/мин, $n = 255$ об/мин, $s = 0,1$ мм/об, $T_o = 0,69$ с, $N = 1,91$ кВт, $A = 1,32$ кДж).

Параметры оптимизации, полученные при помощи справочной литературы [6], для указанных вариантов обработки приведены в таблице.

Суммарные основное время и работа, рассчитанные на основе приведенных выше данных

Вариант	Основное время ΣT_o , с	Работа ΣA , кДж
1	8,85	32,13
2	5,69	19,46
3	5,47	24,57
4	3,30	48,47

Источник: разработка автора.

зости к идеальной точке, а также метод главного критерия, используемый в ситуациях, когда один из параметров обладает приоритетной значимостью.

1. Анализ методов многокритериальной оптимизации применительно к задаче выбора технологии обработки отверстий. Целью оптимизации в рассматриваемой задаче является минимизация основного времени обработки T_o и работы A , характеризующей энергетические затраты технологического процесса. В связи с этим в качестве идеального решения принимается такое состояние системы, при котором значения указанных критериев стремятся к своим минимально возможным значениям. В пространстве критериев данное состояние может быть представлено в виде идеальной точки с координатами (0;0), соответствующей условию:

$$T_o \rightarrow \min, A \rightarrow \min. \quad (1)$$

Точка (0;0) при этом носит теоретический характер и используется как эталонное решение при оценке близости альтернативных вариантов технологических маршрутов в рамках многокритериальной оптимизации.

1.1. Метод свертки критериев. Используется комбинированная оценка нескольких показателей: сравниваются варианты по двум критериям и выбирают тот, где оба значения минимальны.

Согласно этому методу можно объединить два критерия в один показатель:

$$F(x) = w_1 \cdot T_o + w_2 \cdot A, \quad (2)$$

где w_1 — весовой коэффициент, характеризующий степень важности основного времени обработки;

w_2 — весовой коэффициент, характеризующий степень важности работы;

T_o — основное время, с;

A — работа, кДж.

Весовые коэффициенты вводятся для того, чтобы отразить степень важности каждого критерия при сравнении вариантов. Поскольку рассматриваемые показатели характеризуют разные стороны процесса обработки отверстия и измеряются в разных единицах, их прямое сравнение затруднено. Введение весов позволяет объединить их в единую интегральную оценку. Фактически весовой коэффициент показывает, какую долю влияния оказывает соответствующий показатель на итоговый результат. Чем больше значение веса, тем сильнее данный критерий влияет на величину функции $F(x)$. Ограничение (3) означает, что веса представляют собой доли общей значимости критериев:

$$w_1 + w_2 = 1. \quad (3)$$

Оптимальный метод обработки отверстий определяется посредством применения и последующего сопоставления нескольких подходов многокритериальной оптимизации, наиболее адекватных для решения поставленной задачи. В анализ включены следующие методы: метод свертки критериев, обеспечивающий интегральную оценку альтернатив; метод Парето-оптимальности, позволяющий выявлять компромиссные решения при наличии конфликтующих показателей; методы VIKOR и TOPSIS, ориентированные на автоматизированный выбор решения на основе близости к идеальной точке, а также метод главного критерия, используемый в ситуациях, когда один из параметров обладает приоритетной значимостью.

Например:

- при $w_1 = w_2 = 0,5$ — оба показателя считаются одинаково важными;
- при $w_1 = 0,75; w_2 = 0,25$ — приоритет отдается времени обработки;
- при $w_1 = 0,25; w_2 = 0,7$ — более значимым становится работа, затраченная на обработку.

Таким образом, итоговый показатель $F(x)$ представляет собой взвешенную суммарную оценку, позволяющую сравнивать различные технологические варианты по совокупности критериев.

На первом этапе рассмотрены равные веса частных критериев ($w_1 = w_2 = 0,5$). Расчетные значения интегрального показателя для четырех вариантов составили соответственно около 20,49; 12,58; 15,02 и 28,89. Минимальное значение наблюдается у варианта 2, который в данном сценарии признается оптимальным.

На втором этапе выполнена оценка приоритетности временного критерия ($w_1 = 0,75; w_2 = 0,25$). Полученные значения $F(x)$ также демонстрируют преимущество второго варианта: ориентировочно 14,63; 9,13; 10,24 и 14,59 для вариантов 1–4 соответственно. Несмотря на изменение весового соотношения, характер ранжирования остается неизменным и вариант 2 вновь является лучшим.

Аналогичные выводы получены при смещении приоритета в сторону энергоэффективности ($w_1 = 0,25; w_2 = 0,75$). В этом случае интегральный показатель принимает значения порядка 26,31; 16,02; 19,80 и 37,18. Минимальное значение вновь достигается у варианта 2.

Сопоставление трех рассмотренных весовых схем показывает устойчивость решения: во всех случаях аддитивная свертка критериев приводит к выбору второго варианта. Это свидетельствует о его комплексном преимуществе как по времени обработки, так и по энергоемкости процесса, что подтверждает его оптимальность по совокупности показателей.

Несмотря на то, что метод свертки критериев характеризуется простотой реализации и высокой наглядностью, его применение ограничено. Основные недостатки заключаются в необходимости заранее задавать весовые коэффициенты, формальном учете конфликтующих целей и низкой масштабируемости при увеличении числа критериев. Несмотря на демонстрируемую устойчивость решений в простых задачах, метод может не обеспечивать поиск компромиссных (Парето-эффективных) вариантов в более сложных сценариях, что снижает его применимость при обосновании рациональной технологии формирования отверстий.

1.2. Метод Парето-оптимальности. Метод Парето-оптимальности позволяет выделить решения, не подлежащие одновременному улучшению по всем рассматриваемым критериям. В данной задаче каждый вариант обработки представляется точкой в двумерном пространстве критериев (T_o, A) , где T_o — основное время обработки, а A — работа, характеризующая энергоемкость процесса. Наилучшими считаются решения, приближенные к началу координат, поскольку они минимизируют оба критерия.

Рассматриваемые варианты имеют следующие координаты: вариант 1 — (8,85; 32,13); вариант 2 — (5,69; 19,46); вариант 3 — (5,47; 24,57); вариант 4 — (3,30; 48,47).

Для определения принадлежности решения множеству Парето используется стандартное правило доминирования: решение x_1 доминирует решение x_2 , если по всем критериям выполняется неравенство $f_i(x_1) \leq f_i(x_2)$, и хотя бы по одному критерию — строгое неравенство.

Проведенный анализ показал, что вариант 1 уступает вариантам 2 и 3 по обоим критериям и, следовательно, не относится к множеству эффективных решений. Варианты 2, 3 и 4 не доминируются другими альтернативами: вариант 2 характеризуется минимальной работой резания, вариант 3 демонстрирует сбалансированное сочетание времени и работы, а вариант 4 обладает наименьшим временем обработки при максимальной энергоемкости. Поскольку ни одно из указанных решений не может быть одновременно улучшено по обоим критериям, они образуют Парето-фронт.

Несмотря на простоту реализации и удобство интерпретации результатов, метод Парето-оптимальности обладает рядом существенных ограничений. К ним относятся необходимость априорного задания весовых коэффициентов, чувствительность результатов к нормализации показателей и формальный характер учета конфликтующих критериев. Вследствие этого данный подход не гарантирует выявление Парето-эффективных решений и может приводить к потере значимой информации о структуре компромиссов между критериями. Указанные особенности ограничивают применимость метода свертки при обосновании рациональной технологии формирования отверстий.

1.3. Метод главного критерия. Одним из наиболее простых и распространенных подходов многокритериального выбора является метод главного критерия. В соответствии с данным подходом один из показателей принимается в качестве основного, тогда как остальные учитываются в виде ограничений.

1.3.1. Оптимизация по главному критерию: минимизация основного времени T_o . В качестве ключевого критерия принимается минимизация основного времени обработки T_o . Такой выбор соответствует практическим требованиям предприятия, где соблюдение производственных сроков и минимизация простоев оборудования оказывают существенное влияние на экономические показатели. Помимо производительности необходимо

учитывать энергетические и эксплуатационные ограничения технологической системы. С этой целью в модель вводится дополнительное условие (4), ограничивающее величину работы резания:

$$A \leq A_{\max}, \quad (4)$$

где A — работа резания, кДж;

A_{\max} — предельно допустимое значение работы резания, кДж ($A_{\max} = 45$ кДж).

Предельное значение $A_{\max} = 45$ кДж обосновано энергетическими возможностями технологической системы и физическими закономерностями процесса резания. Принятое значение номинальной мощности металлорежущего оборудования порядка 3 кВт соответствует типовым характеристикам вертикально-сверлильных и универсальных станков, применяемых при обработке отверстий диаметром до 25–30 мм в конструкционных сталях [6]. Продолжительность технологического перехода до 15 с определяется расчетным основным временем сверлильно-зенкерных операций при обработке отверстия глубиной 150 мм при нормативных подачах и скоростях резания [6]. В этом случае максимально допустимая работа оценивается по соотношению $A = N \cdot T_o$ и составляет около 45 кДж, что соответствует допустимому уровню нагрузки привода станка и предотвращает его перегрузку. Дополнительная проверка выполнена через удельную энергию резания конструкционных сталей (2,5–4,0 Дж/мм³) [6, 7]. При объеме удаляемого материала для отверстия $\varnothing 25 \times 150$ мм ($\sim 73,6$ см³) расчетная энергоемкость процесса достигает 180–290 кДж, что указывает на потенциальную перегруженность высокопроизводительных режимов. Следовательно, введенное ограничение выполняет функцию технологического фильтра, исключающего энергоемкие и неустойчивые режимы обработки и обеспечивающего надежную работу системы станок — инструмент — заготовка [7].

Таким образом, задача формулируется следующим образом:

$$\min T_o, \text{ при условии } A \leq 45 \text{ кДж, } x \in \{1, 2, 3, 4\}. \quad (5)$$

Из анализируемых четырех вариантов только один — вариант 4 — нарушает условие по энергоемкости, поскольку его работа превышает допустимое значение. Варианты 1, 2 и 3 являются допустимыми, и среди них минимальное значение времени обработки демонстрирует вариант 3 ($T_o = 5,47$ с). Следовательно, при заданном ограничении и приоритетности скорости обработки оптимальным является вариант 3.

1.3.2. *Оптимизация по главному критерию: минимизация работы A.* Рассмотрим альтернативный технологический приоритет — минимизацию работы резания A , что соответствует ориентации на энергоэффективность процесса. В этом случае вводится ограничение на длительность операции:

$$T_o \leq T_{\max} = 5,5 \text{ с}, \quad (6)$$

где T_o — основное время обработки детали на технологическом переходе с учетом выбранных режимов резания и параметров обработки, с;

T_{\max} — максимально допустимое технологическое время перехода, с.

Значение предельно допустимого времени обработки $T_{\max} \leq 5,5$ с принято исходя из требований серийного производства, при котором длительность технологической операции должна соответствовать расчетному тактовому времени выпуска продукции. Согласно нормативным положениям технологической подготовки производства, тактовое время определяется отношением эффективного фонда рабочего времени к объему выпуска и задает максимально допустимую продолжительность отдельного перехода, обеспечивающую синхронизацию операций производственного цикла [4]. Анализ длительности рассматриваемых вариантов обработки отверстия $\varnothing 25$ мм и длиной 150 мм показал, что рациональные режимы обеспечивают выполнение операции в интервале около 5,0–5,5 с, поэтому значение 5,5 с принято как верхняя граница допустимого такта, исключающая низкопроизводительные решения и обеспечивающая согласованность последующих технологических переходов [4, 7]. Задача формулируется в виде:

$$\min A, \text{ при условии } T_o \leq 5,5 \text{ с, } x \in \{1, 2, 3, 4\}. \quad (7)$$

Из всех вариантов условиям по времени соответствуют лишь варианты 3 и 4; варианты 1 и 2 исключаются как несоответствующие тактовому ограничению. Среди оставшихся решений минимальное значение работы имеет вариант 3 ($A = 24,57$ кДж). Вариант 2, хотя и энергоэффективнее, не удовлетворяет временному ограничению, а вариант 4 характеризуется чрезмерно высокой энергоемкостью, поэтому оптимальным решением вновь является вариант 3.

Метод главного критерия отличается простотой реализации и наглядностью результатов, однако его применение ограничено необходимостью априорного задания весовых коэффициентов и чувствительностью к масштабу и нормализации исходных показателей. Формальное объединение критериев в единый показатель не обеспечивает явного учета их конфликтности и может приводить к утрате информации о структуре компромиссных решений. В связи с этим данный метод целесообразно рассматривать преимущественно как инструмент предварительного анализа, тогда как обоснование рациональной технологии формирования отверстий требует применения более гибких методов многокритериальной оптимизации.

1.4. Методы автоматического выбора решения.

1.4.1. *Метод VIKOR (Višekriterijumsko kompromisno rangiranje)*. Является одним из подходов многокритериальной оптимизации, основанных на выборе компромиссного решения, максимально приближенного к идеальной точке. Алгоритм метода включает нормализацию исходных показателей, вычисление интегрального отклонения S_i , характеризующего совокупное расстояние до идеала, и максимального отклонения R_i , отражающего наибольшее частное отставание по отдельному критерию. На основе этих величин определяется индекс компромисса Q_i , учитывающий одновременно групповую полезность и индивидуальное худшее отклонение альтернативы.

При равных весах критериев ($w_1 = w_2 = 0,5$) минимальное значение Q_i получает вариант 2, что свидетельствует о его наибольшей близости к идеальному решению. При смещении приоритета в сторону минимизации времени обработки ($w_1 = 0,75; w_2 = 0,25$) предпочтительным становится вариант 4, обладающий минимальным временем среди всех альтернатив. В случае доминирования энергоэффективности процесса ($w_1 = 0,25; w_2 = 0,75$) оптимальным вновь определяется вариант 2. Таким образом, метод VIKOR демонстрирует выраженную чувствительность к весовым коэффициентам и позволяет выявлять наиболее рациональные компромиссные решения при различных приоритетах критериев.

1.4.2. *Метод TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)*. Относится к классическим методам многокритериального принятия решений и основан на принципе выбора альтернативы, наиболее близкой к идеальному решению и максимально удаленной от антиидеального. Реализация метода включает нормализацию исходной матрицы критериев, формирование взвешенной нормализованной матрицы, определение идеального и антиидеального решений, а также вычисление расстояний альтернатив до этих точек и показателя относительной близости C_i .

При равных весовых коэффициентах критериев ($w_1 = w_2 = 0,5$) наибольшее значение показателя относительной близости достигается вариантом 2, что свидетельствует о его наилучшем балансе между временем обработки и энергозатратами. При увеличении значимости критерия времени обработки ($w_1 = 0,75; w_2 = 0,25$) предпочтительным становится вариант 4, характеризующийся минимальным основным временем обработки. В условиях приоритета энергозатрат ($w_1 = 0,25; w_2 = 0,75$) вновь лидирует вариант 2, обладающий минимальной работой резания.

Таким образом, результаты применения метода TOPSIS демонстрируют существенную зависимость ранжирования альтернатив от выбора весовых коэффициентов и позволяют выявлять решения, оптимальные при различных приоритетах частных критериев. Вместе с тем с учетом реальных технологических ограничений, в частности по допустимому уровню работы резания ($A \leq 45$ кДж) и основному времени обработки ($T_0 \leq 5,5$ с), вариант 3, не являясь лидирующим по показателю C_i , сохраняет устойчивые позиции в ранжировании при всех рассмотренных наборах весов и может быть обоснованно рассмотрен как рациональный технологический компромисс.

Заключение. Обобщение результатов применения рассмотренных методов многокритериальной оптимизации позволило выделить подходы, наиболее полно удовлетворяющие требованиям объективности, воспроизводимости и возможности автоматизации. Показано, что методы, основанные на оценке близости к идеальному решению, обеспечивают высокую устойчивость результатов и удобство практического применения при проектировании технологических процессов формирования отверстий. Установлено, что метод TOPSIS в меньшей степени чувствителен к масштабированию критериев по сравнению с методом VIKOR [7], что позволяет рассматривать его как наиболее предпочтительный инструмент оптимизации. Проведенный анализ обеспечил комплексную оценку технологических вариантов по основному времени обработки и работе резания.

Выводы. Проведенное исследование подтвердило целесообразность применения методов многокритериальной оптимизации для формализованной оценки и выбора рациональных технологических решений при формировании отверстий. Сравнительный анализ подходов — свертки критериев, Парето-оптимальности, главного критерия, а также методов VIKOR и TOPSIS — позволил выявить их сильные и ограничивающие стороны, связанные с чувствительностью к весовым коэффициентам, масштабируемостью и характером исходных данных. Установлено, что простые методы эффективны на этапе предварительного анализа, но могут не учитывать всей структуры компромиссов. Методы, основанные на близости к идеальной точке, продемонстрировали более устойчивое поведение. В частности, метод TOPSIS показал наименьшую зависимость от параметров нормализации и наиболее стабильные результаты при варьировании весов, что позволяет рекомендовать его в качестве предпочтительного инструмента для комплексной оценки технологических альтернатив. Полученные

результаты могут быть использованы при разработке алгоритмов автоматизированного выбора рациональных процессов обработки.

Список цитируемых источников:

1. Ehrgott, M. *Multicriteria optimization* / M. Ehrgott. — 2nd ed. — Berlin: Springer, 2005. — XII, 323 p. — (Vector Optimization). — ISBN 978-3-540-21398-7. — DOI: 10.1007/3-540-27659-9
2. Steuer, R. E. *Multiple criteria optimization: theory, computation and application* / R. E. Steuer. — New York: Wiley, 1986. — XVI, 546 p. — (Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics). — ISBN 0-471-88846-1.
3. Hwang, C. L. *Multiple attribute decision making: methods and applications: a state-of-the-art survey* / C. L. Hwang, K. Yoon. — Berlin: Springer-Verlag, 1981. — 280 p.
4. Прохоренков, П. А. Модель многокритериальной оптимизации на основе равенства потерь критериев [Электронный ресурс] / П. А. Прохоренков, Т. В. Переп, А. С. Елисеенков // *Современные наукоемкие технологии*. — 2024. — № 3. — С. 76–81. — URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=39949> (дата обращения: 26.08.2025). — DOI: 10.17513/snt.39949
5. Кляус, О. Н. Структурная оптимизация процесса формирования отверстий лезвийным инструментом / О. Н. Кляус, А. А. Жолобов // *Вестник Белорусско-Российского университета*. — 2023. — № 2 (79). — С. 34–43.
6. *Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т.* / редкол.: А. М. Дальский (гл. ред.) [и др.]. — 5-е изд., испр. — М.: Машиностроение-1, 2003. — Т. 2. — 912 с. : ил.
7. Sari, F. Comparison of TOPSIS and VIKOR multi-criteria decision analysis techniques / F. Sari // *Procedia — Social and Behavioral Sciences*. — 2014. — Vol. 109. — P. 907–911.

УДК 334.78

АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ГОТОВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ К УЧАСТИЮ В МЕЖОРГАНИЗАЦИОННОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ

APPROBATION OF THE METHODOLOGY FOR A COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE READINESS OF LIGHT INDUSTRY ENTERPRISES OF THE REPUBLIC OF BELARUS TO PARTICIPATE IN INTER-ORGANIZATIONAL INTERACTION

С. А. Грицевич,

старший преподаватель кафедры «Бизнес-администрирование» Белорусского национального технического университета, магистр экон. наук,
г. Минск, Республика Беларусь

S. Hrytsevich,

Senior Lecturer at the Department of Business Administration of the Belarusian National Technical University,
Master of Economics,
Minsk, Republic of Belarus

Дата поступления в редакцию — 02.04.2026.

В рамках диссертационного исследования, посвященного разработке методического обеспечения управления межорганизационным взаимодействием на основе экосистемного подхода, в статье представлена апробация авторской методики комплексной оценки готовности предприятий легкой промышленности Республики Беларусь к участию в современных формах взаимодействия. Методика включает расчет частных, групповых и интегральных показателей экосистемного потенциала организации и бизнес-среды, нормирование данных и построение матрицы стратегического позиционирования. Результаты апробации подтверждают применимость методики для диагностики готовности предприятий к межорганизационному взаимодействию и определения направлений их трансформации в условиях цифровизации.

As part of a dissertation research project focused on developing methodological support for managing inter-organizational interaction based on the ecosystem approach, the article presents the approbation of an author's methodology for a comprehensive assessment of the readiness of light industry enterprises of the Republic of Belarus to participate in modern forms of

interaction. The methodology includes the calculation of individual, group, and integral indicators of the ecosystem potential of an organization and its business environment, data normalization, and the construction of a strategic positioning matrix. The results of the approbation confirm the applicability of the methodology for diagnosing enterprises' readiness for inter-organizational interaction and identifying directions for their transformation under digitalization.

Ключевые слова: экосистемный подход, методика оценки готовности, экосистемный потенциал, бизнес-среда, организация, интегральный показатель, стратегическая матрица позиционирования.

Keywords: ecosystem approach; readiness assessment methodology; ecosystem potential; business environment; organization; integral indicator; strategic positioning matrix.

Введение. Стремительное развитие цифровых технологий, усложнение экономических систем и усиление сетевых форм взаимодействия приводят к трансформации традиционных моделей межорганизационного сотрудничества. Для предприятий низкотехнологичных отраслей, включая легкую промышленность Республики Беларусь, такие изменения становятся критически значимыми: повышение конкурентоспособности и устойчивости все чаще зависит не от внутренних ресурсов, а от способности организации интегрироваться в более широкие сетевые структуры. В этих условиях возрастает необходимость поиска новых подходов к организации взаимодействия между предприятиями, позволяющих учитывать взаимозависимость участников и динамику внешней среды. Под межорганизационным взаимодействием в статье понимается совокупность устойчивых и координированных связей между предприятиями, направленных на совместное создание ценности, обмен ресурсами, знаниями и технологиями, а также формирование сетевых и платформенных форм сотрудничества.

Экосистемный подход, объединяющий элементы системного, сетевого и процессного подходов, позволяет рассматривать организацию и бизнес-среду как взаимосвязанные элементы единой сложной адаптивной системы. В рамках такого авторского подхода ключевыми становятся принципы самоорганизации, взаимодополняемости, активной адаптации, единства общих и индивидуальных целей, многомерности, модульности, координации, инновационной сложности, совместного развития (коэволюции), конкурентного сотрудничества (коопетиции), совместного создания ценностного предложения, справедливого распределения совместно созданных ценностей [1]. Данные принципы экосистемного подхода определяют способность участников экономической системы создавать новые формы межорганизационного взаимодействия, переходить от иерархических моделей к гибким распределенным структурам, от отраслевой логики развития к платформенной, и создавать синергетические эффекты.

Современные исследования межорганизационного взаимодействия [2–5] подчеркивают, что кооперация и сетевые формы сотрудничества становятся ключевым условием адаптации предприятий к изменениям внешней среды. Однако при наличии значительного теоретического материала остается недостаточно разработанным вопрос оценки готовности организаций к участию в таких взаимодействиях.

Современные исследователи в области экономики все больше внимания акцентируют на цифровой трансформации и становлении платформенной экономики. Зарубежные авторы [6–8] рассматривают цифровые платформы как новую институциональную архитектуру координации, основанную на алгоритмических механизмах и сетевых эффектах. Белорусские исследователи, такие как С. Ю. Солодовников и Т. В. Сергиевич [9], Ф. И. Храмова [10], Н. Г. Синяк [11], выделяют, что цифровизация перестраивает цепочки создания стоимости и требует формирования новых механизмов согласования интересов участников экономических взаимодействий.

В научной литературе также прослеживается тенденция перехода от отраслевой логики к платформенной. Исследования В. Ю. Барановского [12] демонстрируют, что платформенные модели становятся основой трансформации отраслей, формируя многосторонние рынки и экосистемные структуры. Отечественные авторы-исследователи [13] подтверждают необходимость перехода от вертикальных отраслевых к сетевым и экосистемным моделям.

Особое значение для настоящего исследования имеют работы, посвященные развитию предприятий легкой промышленности. Исследования Ю. А. Медведевой и О. В. Жандаровой [14] фиксируют ранний этап организационных преобразований и переход к сетевым формам взаимодействия, Т. В. Сергиевич [15] — акцентирует внимание на высоком потенциале внутриотраслевой кооперации и роли цифровых технологий. В работах других авторов [16] отражено, что инновации, стартап-форматы и цифровые платформы становятся ключевыми факторами развития текстильной и легкой промышленности.

По мнению автора, при наличии значительного теоретического объема исследований, посвященных межорганизационному взаимодействию, цифровой трансформации и платформенной логике, роли традиционных отраслей промышленности в современном развитии, остается недостаточно разработанным вопрос оценки готовности организаций к участию в современных формах взаимодействий. Особенно актуален данный вопрос для Республики Беларусь, где предприятия низкотехнологичных отраслей, в том числе легкой промышленности, сталкиваются с необходимостью перехода от традиционных отраслевых моделей к платформенным стратегиям развития.

Таким образом, целью настоящего исследования является апробация авторской методики комплексной оценки готовности заинтересованных сторон к межорганизационному взаимодействию на примере предприятий легкой промышленности Республики Беларусь и, на основе полученных интегральных показателей, разработка матрицы стратегического позиционирования в качестве инструмента диагностики и прогнозирования готовности организации и бизнес-среды к трансформации межорганизационного взаимодействия на принципах экосистемного подхода в направлении перехода от отраслевой к платформенной стратегии развития.

Основная часть. В опубликованной ранее работе автор предложила и теоретически обосновала универсальную методику комплексной оценки готовности заинтересованных сторон к межорганизационному взаимодействию, методологической основой которой стал экосистемный подход, «...раскрывающий современный механизм развития экономических систем в условиях становления новой экономики» [17, с. 27]. Предлагаемая методика комплексной оценки готовности заинтересованных сторон к участию в современных формах межорганизационного взаимодействия основана на формировании экосистемного потенциала, который трактуется как «...комплексный потенциал, предполагающий использование интегрального подхода к оценке признаков соответствия условий и возможностей, позволяющих выстраивать сложное (бизнес-экосистемное) взаимодействие экономических систем» [17, с. 27].

Авторская методика включает четыре последовательных этапа, обеспечивающих переход от исходных данных к интегральной оценке готовности:

- 1) определение цели и задач готовности заинтересованных сторон к межорганизационному взаимодействию на основе экосистемного подхода;
- 2) расчет групповых индикаторов на основе частных показателей, характеризующих экосистемный потенциал среды и организации;
- 3) расчет интегральных показателей экосистемного потенциала среды и организации;
- 4) комплексную оценку уровня готовности заинтересованных сторон к участию в межорганизационном взаимодействии на основе экосистемного подхода.

Общий комплексный экосистемный потенциал (КЭПЛ) готовности к участию в современных формах межорганизационных взаимодействий на основе экосистемного подхода учитывает единство внешней среды и организации и позволят выявить наиболее устойчивые универсальные признаки готовности участников экономических систем к формированию моделей сетевого межорганизационного сотрудничества, адаптированных к динамично меняющейся среде.

Экосистемный потенциал среды (ЭПЛс), по мнению автора, представляет собой совокупность институциональных, инфраструктурных и технологических условий, определяющих способность внешней деловой среды поддерживать развитие современных форм межорганизационного взаимодействия. Он отражает степень зрелости социально-экономических институтов, уровень цифровой и коммуникационной инфраструктуры, а также технологическую динамику, создающую предпосылки для формирования и функционирования бизнес-экосистем (БЭС). В оценке готовности ЭПЛс к межорганизационному взаимодействию на принципах экосистемного подхода выделены институциональный, инфраструктурный и технологический уровни.

Экосистемный потенциал организации (ЭПЛО) характеризует внутренние возможности предприятия участвовать в сетевых и платформенных формах взаимодействия. Он включает ресурсный потенциал (материальные, финансовые, трудовые ресурсы), инновационно-технологический потенциал (цифровизация, инновационная активность, технологическая оснащенность) и потенциал межорганизационных взаимодействий (кооперационные связи, партнерства, способность к интеграции и снижению транзакционных издержек). В совокупности эти компоненты отражают готовность организации к включению в БЭС.

Оценка КЭПЛ, по мнению автора, является трудоемким процессом с ограниченностью объемов данных для исследований. Наиболее сложным в процессе комплексной оценки являлось определение перечня частных показателей, характеризующих групповые индикаторы ЭПЛс и ЭПЛО в рамках доступных аналитических отчетов и статистических данных. В частности, для оценки экосистемного потенциала организации автором использовано 43 частных показателя, распределенных по трем группам:

- ресурсная (21 показатель);
- инновационно-технологическая (12 показателей);
- кооперационная (10 показателей).

Для оценки ЭПЛс сформирован набор из 30 частных показателей, входящих в состав институциональных (13 показателей), инфраструктурных (6 показателей) и технологических (11 показателей) индикаторов. Такой диапазон показателей отражает как многоаспектность экосистемного подхода, так и необходимость учета широкого спектра факторов, определяющих готовность организаций и бизнес-среды к межорганизационному взаимодействию.

По мнению автора, институциональный уровень является системообразующим и определяет не только возможность формирования будущих экосистем в бизнесе, но и их масштабируемость, устойчивость и интеграцию

в глобальные процессы; показатели ЭПЛс на инфраструктурном уровне позволяют оценить не только наличие технической базы, но и ее способность поддерживать распределенные, адаптивные и масштабируемые взаимодействия на принципах экосистемного подхода; технологический уровень отражает не только инновационную активность, но и зрелость среды, ее способность поддерживать долгосрочные экосистемные проекты и интегрироваться в глобальные сети.

В оценке готовности экосистемный потенциал организации к межорганизационному взаимодействию на принципах экосистемного подхода выделены ресурсный потенциал, инновационно-технологический потенциал и потенциал межорганизационного взаимодействия. Отличительной особенностью методики по оценке ЭПЛо является учет ряда субпотенциалов, а также присутствие качественных показателей, позволяющих усилить многоаспектный анализ.

Для определения ресурсного потенциала организации в методику встроен расчет трех субпотенциалов — производственного, трудового и финансового. Их совокупность позволяет дать целостное представление о готовности предприятия к экосистемному взаимодействию, где производственный субпотенциал отражает материально-техническую базу, трудовой — кадровую и компетентностную основу, финансовый — устойчивость и способность к инвестициям. Инновационно-технологический потенциал предприятия является ключевым фактором его готовности к формированию БЭС, так как именно инновации и технологические разработки становятся ядром межорганизационного взаимодействия. Данный потенциал характеризует не только внутреннюю инновационную активность предприятия, но и его способность быть инициатором и драйвером межорганизационного взаимодействия, обеспечивая экосистему новыми продуктами, технологиями и компетенциями. Потенциал межорганизационного взаимодействия предприятия отражает его способность быть активным участником в сетевой структуре экосистемы. Он фиксирует фактическую интенсивность кооперации и демонстрирует готовность предприятия к распределенному созданию ценности, позволяет формировать вокруг себя сеть партнеров, расширять горизонты экосистемного взаимодействия.

Для оценки ЭПЛс собраны данные из открытых источников Национального статистического комитета Республики Беларусь за 2019–2021 гг. [18]. Объектом оценки ЭПЛо выступило предприятие отрасли легкой промышленности Открытое акционерное общество «Барановичское производственное хлопчатобумажное объединение» (ОАО «БПХО»). Полученные аналитические материалы и отчеты за 2019–2021 гг. позволили автору провести оценку готовности предприятия к участию в современных формах межорганизационных взаимодействий на принципах экосистемного подхода.

В настоящее время для государства ОАО «БПХО» является важным стратегическим активом, обеспечивающим технологическую независимость в производстве хлопчатобумажных материалов [19]. Сохраняя стратегическую и социальную значимость для Республики Беларусь, в последние 5 лет ОАО «БПХО» характеризуется как предприятие с финансовой нестабильностью, которое зависит от прямой поддержки Белорусского государственного концерна по производству и реализации товаров легкой промышленности и государства. Негативные тенденции по наращиванию долговой нагрузки, сокращению численности работников, устареванию мощностей ставит под угрозу устойчивость работы предприятия.

В рамках предлагаемой методики для перехода от качественного анализа к количественной оценке показателей и индикаторов рекомендуется использовать нормирование и стандартизацию показателей внутри групп индикаторов. Автор придерживается следующей последовательности в расчетах, представленной в табл. 1.

Применение квадратичной модели для расчета интегрального показателя, по мнению автора, позволит сохранить чувствительность к сильным и слабым показателям модели, а также работать с ограниченными диапазонами данных, представленная модель (6) согласуется с принципами многокритериальной оценки и позволяет работать с нормализованными данными.

Таблица 1

Последовательность операций нормирования и стандартизации групповых индикаторов

Шаг	Содержание	Формула	Примечание
1	Расчет среднеквадратического отклонения показателя для каждого блока групповых показателей	$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad (1)$ <p>где σ^2 — среднеквадратическое отклонение; x_i — исходное значение фактора; \bar{x} — среднее арифметическое всех факторов; n — количество факторов</p>	—

Шаг	Содержание	Формула	Примечание
2	Вычисление стандартизированных значений каждого из частных показателей	$S_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma_i}, \quad (2)$ <p>где S_i — стандартизированное значение фактора; σ_i — стандартное отклонение фактора</p>	при выполнении расчетов следует учесть, что в случае, если $x_i < 0$, тогда $S_i < 0$, однако, по мнению автора методики, в дальнейших расчетах групповых индикаторов необходимо сохранять знак и отказаться от использования модуля и приведения значений только к положительным
3	Выбор эталонного значения частного показателя (x'_i)	—	при прямом влиянии на показатель — максимальное за период, при обратном — минимальное
4	Вычисление стандартизированных значений эталонных показателей	$S'_i = \frac{x'_i - \bar{x}}{\sigma_i}, \quad (3)$ <p>где S'_i — стандартизированное значение эталонного фактора; x'_i — эталонное значение фактора</p>	—
5	Расчет коэффициента значимости для каждого стандартизированного значения показателя в комплексной оценке	$k_i = \frac{S'_i}{\sum S'_i}, \quad (4)$ <p>где k_i — коэффициент значимости для каждого стандартизированного значения показателя в комплексной оценке ($\sum_{i=1}^n k_i = 1$)</p>	относительная значимость каждого фактора призвана обеспечить интерпретируемость результатов (каждый весовой вклад в 100 %-ю значимость группового индикатора); сравнимость и устойчивость (изменение одного показателя не нарушает масштаб всей модели)
6	Корректировка каждого индикатора по группе показателей на коэффициенты значимости как средневзвешенная сумма	$\sum_{i=1}^n I = k_i \cdot S_i, \quad (5)$ <p>где I — индикатор по группе показателей</p>	если полученный $I < 0$, то это будет означать, что группа показателей в анализируемом периоде в целом ниже эталонного уровня, что является сигналом снижения потенциала по группе показателей, основанием для выявления и анализа слабых зон
7	Расчет интегрального показателя как среднее взвешенное квадратов нормализованных групповых индикаторов	$\text{ЭПЛ}^{\text{ИНТ}} = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j \cdot I_j^2}, \quad (6)$ <p>где $\text{ЭПЛ}^{\text{ИНТ}}$ — интегральный показатель экосистемного потенциала; w_j — весовой коэффициент для интегрального показателя экосистемного потенциала, определяемый методом экспертных оценок</p>	интегральный показатель в методике может быть рассчитан как сумма взвешенных групповых индикаторов с учетом метода экспертной оценки (ресурсного потенциала организации, инновационно-технического потенциала организации, потенциала межорганизационного взаимодействия, потенциала среды на институциональном, инфраструктурном и технологическом уровнях)

Источник: разработка автора.

В данном исследовании групповые индексы рассчитываются на основе стандартизированных значений, допускающих как положительные, так и отрицательные отклонения от эталонного уровня. Это позволяет сохранить направление отклонения и обеспечить аналитическую интерпретируемость модели. Диапазон значений индексов приведен к интервалу $[-1; 1]$, где 0 соответствует нормативному уровню, -1 — минимальному, $+1$ — максимальному.

Для дальнейших преобразований автор использует метод Мин-Макс нормализации, который позволяет преобразовать групповые индикаторы перед расчетом интегрального показателя:

$$I_n = \frac{J_n - J_{min}}{J_{max} - J_{min}}, \quad (7)$$

где I_n — линейно преобразованный групповой индикатор, $n \in [0; 1]$;

J_n — групповой индикатор, полученный аналитически;

J_{max} — максимальное значение индикатора из выбранного диапазона (+1);

J_{min} — минимальное значение индикатора из выбранного диапазона (-1).

Такие преобразования сохраняют относительные различия и позволяют агрегировать значения без потери знака на аналитическом уровне.

Расчет интегральных показателей ЭПЛо и ЭПЛс предполагается на данном этапе скорректировать на весовые коэффициенты, определенные методом экспертных оценок.

В рамках апробации методики использована индивидуальная экспертная оценка, выполненная автором. Авторский выбор весов в большей степени основан на анализе теоретических источников и отраслевых данных, служит инструментом проверки применимости методики, не заменяя внешнюю экспертизу. Рост весовых коэффициентов направлен на демонстрацию стратегических приоритетов в развитии окружающей деловой среды и анализируемого субъекта хозяйствования.

Итоговый интегральный показатель единства среды и организации — комплексный экосистемный потенциал — определяется на основе расчета среднего интегрального показателя:

$$КЭПЛ = \frac{ЭПЛ_c^{ИНТ} + ЭПЛ_o^{ИНТ}}{2}, \quad (8)$$

где $ЭПЛ_c^{ИНТ}$ — интегральный показатель экосистемного потенциала среды;

$ЭПЛ_o^{ИНТ}$ — интегральный показатель экосистемного потенциала организации.

Весовые коэффициенты интегрального показателя среды определены следующим образом: институциональный уровень получил значение 0,3, поскольку его влияние носит опосредованный характер; инфраструктурный и технологический уровни получили равные значения по 0,35, что отражает их ключевую роль в обеспечении практической реализации экосистемных процессов. Инфраструктура формирует условия для взаимодействия, а технологический уровень обеспечивает инновационное наполнение и динамику развития. Следовательно, распределение весов отражает баланс между институциональной базой и двумя основными факторами, определяющими устойчивость и эффективность экосистемного взаимодействия.

Весовые коэффициенты для групповых показателей экосистемного потенциала ОАО «БПХО»: наибольший вес (0,5) присвоен ресурсному потенциалу, поскольку он отражает материально-техническую, кадровую и финансовую основу функционирования предприятия, является базовым условием его включенности в межорганизационное взаимодействие согласно компетенций самого предприятия; инновационно-технологический потенциал получил вес 0,3, что отражает его роль как драйвера развития и источника конкурентных преимуществ, но при этом он опирается на ресурсную базу; потенциал межорганизационного взаимодействия автором оценен в 0,2, его значение проявляется через способность предприятия интегрироваться в сеть партнерств, однако эффективность этого взаимодействия во многом зависит от уровня ресурсного и технологического обеспечения. Таким образом, согласно мнению автора методики, распределение весов отражает баланс между фундаментальными ресурсами, инновационной динамикой и институциональной кооперацией для ОАО «БПХО» в период 2019–2021 гг., что соответствует логике экосистемного подхода.

Полученные интегральные показатели ЭПЛо и ЭПЛс следует сопоставить и произвести расчет КЭПЛ готовности среды и организации к новым формам межорганизационных взаимодействий в 2019–2021 гг., представленного в табл. 2.

Расчет КЭПЛ готовности к межорганизационному взаимодействию с участием ОАО «БПХО» за 2019–2021 гг.

Интегральный показатель	Обозначение	Вес, w_j	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Групповой показатель потенциала среды на институциональном уровне	ЭПЛ _с ¹	0,3	0,469	0,384	0,582
Групповой показатель потенциала среды на инфраструктурном уровне	ЭПЛ _с ²	0,35	0,266	0,412	0,489
Групповой показатель потенциала среды на технологическом уровне	ЭПЛ _с ³	0,35	0,122	0,386	0,392
Групповой показатель ресурсного потенциала организации	ЭПЛ _о ¹	0,5	0,446	0,677	0,377
Групповой показатель инновационно-технологического потенциала организации	ЭПЛ _о ²	0,3	0,424	0,479	0,766
Групповой показатель потенциала межорганизационного взаимодействия	ЭПЛ _о ³	0,2	0,369	0,459	0,671
Интегральный показатель экосистемного потенциала среды	ЭПЛ _с ^{инт}	–	0,310	0,395	0,489
Интегральный показатель экосистемного потенциала организации	ЭПЛ _о ^{инт}	–	0,425	0,583	0,581
Комплексный экосистемный потенциал	КЭПЛ	–	0,368	0,489	0,535
Интерпретация степени готовности по универсальной шкале Харингтона	–	–	низкая	средняя	средняя
Интерпретация оценки готовности по предложенным сценариям	–	–	ЭПЛс < ЭПЛо	ЭПЛс < ЭПЛо	ЭПЛс > ЭПЛо

Источник: разработка автора.

Для интерпретации интегрального показателя комплексного экосистемного потенциала используется универсальная шкала Харрингтона, позволяющая осуществлять критериальную оценку степени готовности предприятий к межорганизационному взаимодействию. Применение данной шкалы обеспечивает переход от количественных значений к качественной интерпретации результатов и выделяет пять уровней интерпретации полученных результатов: от 0 до 0,2 — очень низкая степень готовности к участию; от 0,2 до 0,37 — низкая степень готовности; от 0,37 до 0,64 — средняя степень готовности; от 0,64 до 0,8 — высокая степень готовности; от 0,8 до 1,0 — очень высокая степень готовности заинтересованных сторон к участию в современных формах межорганизационных взаимодействий, сформированных на основе принципов экосистемного подхода.

В 2019–2021 гг. динамика КЭПЛ демонстрирует поступательный переход от стадии формирования к стадии развития и стабилизации (см. табл. 2). В 2019 г. значение КЭПЛ (0,425) отражало средний уровень готовности, при котором экосистемная устойчивость обеспечивается преимущественно ресурсным потенциалом, тогда как инновационно-технологическая и кооперационная составляющие остаются ограниченными. В 2020 г. наблюдался рост КЭПЛ до 0,489 за счет укрепления ресурсной базы и расширения межорганизационных связей, что соответствует сценарию баланса интересов среды и организации. В 2021 г. значение КЭПЛ сохранилось на уровне 0,535, однако структура потенциала изменилась: снижение ресурсной компоненты компенсируется значительным ростом инновационно-технологического и межорганизационного потенциалов, при этом именно внешняя среда (институциональные и инфраструктурные условия Республики Беларусь) начинает играть ведущую роль в формировании экосистемного потенциала.

Таким образом, апробация комплексной методики подтверждает, что для предприятий низкотехнологичной сферы переход от ресурсной зависимости к модели межорганизационного взаимодействия, выстроенной на принципах концепции БЭС, возможен только при активном воздействии среды, которая задает институциональные рамки, обеспечивает инфраструктурные условия и стимулирует технологическую трансформацию.

Наилучшим образом предлагаемые автором сценарии развития межорганизационного взаимодействия могут быть проиллюстрированы исходя из построения стратегической матрицы позиционирования, отражающей взаимодействие среды и организации (рис. 1). Матрица позволяет выявить наличие объективных предпосылок для формирования БЭС и определить стратегические траектории перехода от отраслевой к платформенной логике взаимодействия.

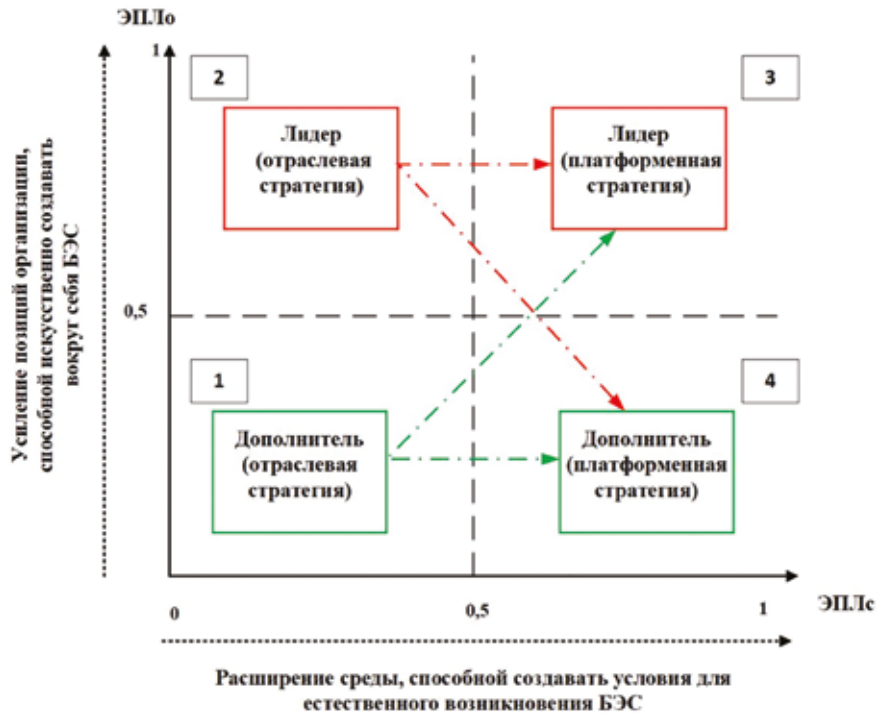


Рис. 1. Стратегическая матрица позиционирования

Источник: составлено автором.

Стратегическая матрица позиционирования построена на основе двух интегральных показателей: экосистемного потенциала организации (ЭПЛо), отражающего способность предприятия инициировать и поддерживать межорганизационные взаимодействия, и экосистемного потенциала среды (ЭПЛс), характеризующего условия для формирования БЭС. Горизонтальная ось матрицы отражает стратегию развития среды — от отраслевой к платформенной, вертикальная — стратегическую позицию организации, варьирующуюся от позиции «дополнителя» к «лидеру». Использование матрицы обусловлено тем, что ЭПЛс и ЭПЛо формируют различные сценарии развития: от сохранения традиционной отраслевой стратегии до перехода к платформенным формам кооперации. Сочетание уровня отраслевой зрелости и степени платформенной ориентации позволяет определить стратегическую позицию предприятия в условиях цифровой трансформации.

В данном контексте стратегическая матрица позиционирования служит инструментом классификации организаций по двум ключевым аспектам: отраслевая стратегия отражает степень технологической и организационной зрелости предприятия в рамках традиционной отрасли; платформенная стратегия характеризует готовность организации к участию в экосистемах, использованию цифровых платформ и созданию сетевых эффектов.

Построение матрицы позволяет определить текущую позицию предприятия в системе межорганизационного взаимодействия и оценить возможные траектории ее изменения. В отраслевой стратегии (позиции 1–2) взаимодействие носит линейный характер, создаваемая ценность формируется последовательно, а роль участников определяется их функциями в цепочке создания стоимости. Платформенная стратегия (позиции 3–4) предполагает сетевую архитектуру, одновременный вклад участников в создание ценности, интеграцию материальных и нематериальных компонентов ценности и формирование условий для самоорганизации на основе цифровых платформ.

Движение организации между позициями (см. рис. 1) демонстрирует различные сценарии развития. Переход «лидера» из позиции (2) в позицию (3) отражает трансформацию отраслевого «лидера» в «лидера» платформенной стратегии, способного структурировать открытую экосистему и привлекать партнеров для совместного создания ценности. Переход из позиции (2) в позицию (4) показывает адаптацию предприятия к платформенной среде через сохранение нишевой роли и усиление значимости за счет уникальных компетенций. В таком случае ЭПЛо усиливается за счет диверсификации связей: предприятие получает доступ к нескольким платформам, снижает риски и расширяет рынки, становится узловым «дополнителем», сохраняя конкурентоспособность без необходимости управлять всей БЭС.

Переход «дополнителя» из позиции (1) в позицию (4) характеризуется стремлением сохранить нишевую роль, но быть встроенным в платформенную среду, сохранив потребность партнеров в специализированных ресурсах, знаниях и технологиях в создании общей ценности БЭС. ЭПЛо усиливается за счет возможности взаимодействовать сразу с несколькими партнерами, в том числе платформами, а не только с одним отраслевым «лидером». Деловая среда становится более открытой для различных предприятий, в том числе и малых, позволяя монетизировать их узкие компетенции.

Рассматривая активную позицию «дополнителя» при переходе в позицию (3) платформенной стратегии, следует отметить не только стремление остаться поставщиком ресурсов, но и активно участвовать в совместном создании ценности, обеспечивая критически важные компоненты БЭС. Такое движение отражает готовность организации встроиться в открытую деловую среду и стать связующим элементом в платформенной архитектуре: обеспечивать стандарты, совместимость, логистику или цифровые интерфейсы. ЭПЛо возрастает: предприятие превращается из «узкого поставщика» в ключевого партнера, а затем и «лидера», без которого БЭС не может функционировать.

Согласно представленной графической интерпретации диагностики готовности организации и бизнес-среды к трансформации межорганизационного взаимодействия (рис. 2), использование данных ЭПЛо и ЭПЛс позволяет отследить динамику перемещения позиции ОАО «БПХО» в квадрантах матрицы взаимодействия среды и организации. В 2019 г. предприятие занимало позицию «дополнителя» в отраслевой стратегии, что указывает на низкий уровень готовности к новым формам межорганизационных взаимодействий и зависимость от ресурсной базы. В 2020–2021 гг. позиция предприятия смещается в сектор отраслевого лидерства, где потенциал готовности к участию в новых формах взаимодействия определяется преимущественно ростом ресурсного потенциала самой организации.

Однако в 2021 г. усиливается и потенциал среды (институциональные и инфраструктурные условия Республики Беларусь), что позволяет предприятию перейти в позицию «лидера» отраслевой стратегии. На основе проведенного анализа могут быть созданы условия для формирования более сложных сетевых партнерств и перехода к платформенной стратегии для ОАО «БПХО» как предприятия низкотехнологичной сферы в целях поддержания его конкурентоспособности и обеспечения будущего устойчивого развития.

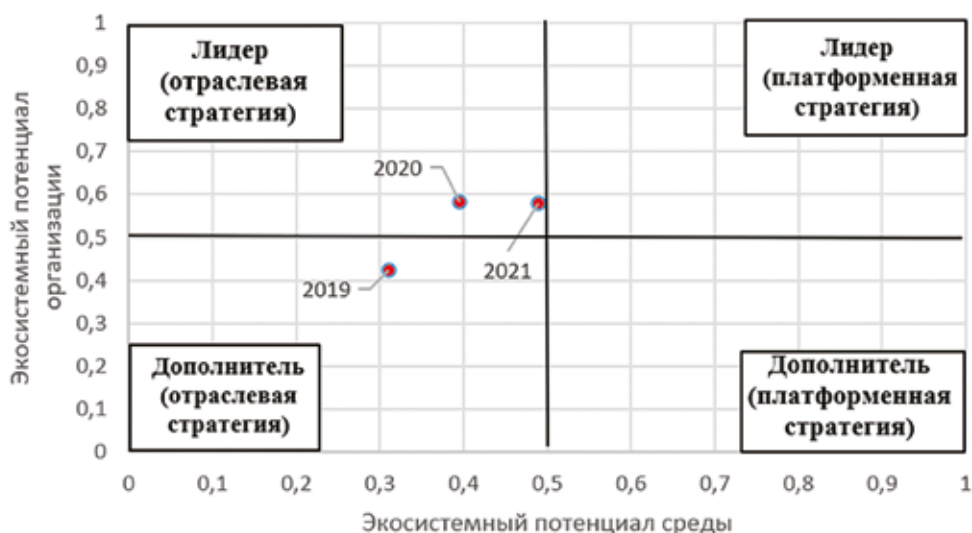


Рис. 2. Стратегическая матрица позиционирования с участием ОАО «БПХО» за 2019–2021 гг.

Источник: составлено автором.

Заключение. Обоснование полученных результатов на основе данных официальной статистики и отчетности предприятий легкой промышленности Республики Беларусь подтверждает возможность применения авторской методики комплексной оценки для выявления готовности организаций и бизнес-среды к трансформации форм межорганизационного взаимодействия на принципах экосистемного подхода. Результаты исследования демонстрируют универсальный характер комплексной методики для использования при анализе предприятий других видов экономической деятельности.

Авторская методика и матрица в совокупности позволяют, по мнению автора, во-первых, наиболее полно определить комплексный эффект взаимовлияния факторов среды и организации за счет оценки вклада разных

показателей на микро- и макроуровнях, во-вторых, выявить устойчивые признаки и дифференцировать уровни готовности к формированию современных форм межорганизационного взаимодействия, в-третьих, определить сценарии развития и выбор оптимальных стратегий трансформации и проектирования новых форм межорганизационного взаимодействия с учетом внутреннего потенциала и внешних возможностей.

Апробация методики показала, что предприятия легкой промышленности Республики Беларусь обладают потенциалом для перехода от отраслевой к платформенной стратегии межорганизационного взаимодействия. Такой переход выступает не только теоретически обоснованным, но и практическим условием сохранения жизнеспособности и повышения конкурентоспособности стратегически значимых предприятий низкотехнологичных отраслей промышленности Республики Беларусь.

Список цитируемых источников:

1. Грицевич, С. А. Методологические основы формирования экосистемного подхода: теоретический анализ / С.А. Грицевич // Экономические и социально-гуманитарные исследования. — 2022. — № 1 (33). — С. 39–49.
2. Гаджимурадов, А. Г. Системный подход в исследовании межорганизационного взаимодействия участников инновационной деятельности / А. Г. Гаджимурадов // Инновационная экономика: информация, аналитика, прогнозы. — 2024. — № 3. — С. 147–151
3. Лебедева, Д. В. Влияние цифровизации на межорганизационные взаимоотношения / Д. В. Лебедева // Экономические системы. — 2024. — Т. 17, № 4. — С. 51–62.
4. Васильева, З. А. Сетевые формы межорганизационного взаимодействия: оценка эффективности / З. А. Васильева [и др.] // Креативная экономика. — 2016. — Т. 10, № 11. — С. 1273–1286.
5. Вайлунова, Ю. Г. Развитие межорганизационных связей как инструмента повышения конкурентоспособности бизнес-субъектов / Ю. Г. Вайлунова // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. — 2015. — № 3 (43). — С. 17–26.
6. Артемьев, В. С. Трансформация механизмов макроэкономического воспроизводства под влиянием цифровых платформ и алгоритмической координации [Электронный ресурс] / В. С. Артемьев, А. М. Трамова, М. Б. Саидахмедова // Региональные проблемы преобразования экономики. — 2025. — № 11 (181). — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/transformatziya-mehanizmov-makroekonomicheskogo-vosproizvodstva-pod-vliyaniem-tsifrovyyh-platform-i-algoritmicheskoy-koordinatsii> (дата обращения: 02.03.2026).
7. Докучаева, В. Д. Экономические механизмы платформенной модели: сетевые эффекты и многосторонние рынки в цифровой среде / В. Д. Докучаева // Экономика: вчера, сегодня, завтра. — 2025. — Т. 15, № 5А. — С. 379–386.
8. Милиякин, С. Р. Цифровые платформы: механизмы функционирования и влияние на экономику / С. Р. Милиякин, Н. Д. Скубачевская, Д. А. Ползиков // Проблемы прогнозирования. — 2025. — № 2. — С. 10.
9. Солодовников, С. Ю. Направления совершенствования бизнес-моделей промышленных предприятий в Республике Беларусь в условиях цифровизации / С. Ю. Солодовников, Т. В. Сергиевич // Наука и техника. — 2022. — Т. 21, № 5. — С. 444–450.
10. Храмцова, Ф. И. Цифровая трансформация Республики Беларусь / Ф. И. Храмцова, Л. П. Ганчарик // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. — 2022. — № 10–4. — С. 209–214. — DOI: 10.24412/2500-1000-2022-10-4-209-21411.
11. Синяк, Н. Г. Институты платформенной экономики и проблемы ее применения в Республике Беларусь / Н. Г. Синяк [и др.] // Endless Light in Science. — 2023. — № 1–1. — С. 247–256.
12. Барановский, В. Ю. Цифровая трансформация и стратегическое управление: переосмысление понятий, подходов и организационных форм / В. Ю. Барановский // π-Economy. — 2025. — Т. 18, № 4. — С. 54–67.
13. Шейбак, Д. Г. Тенденции и перспективы развития промышленного комплекса Республики Беларусь / Д. Г. Шейбак, Е. Н. Трухонцев // Экономика и социум. — 2016. — № 2 (24). — С. 993–996.
14. Медведева, Ю. А. Динамика организационно-структурных преобразований на предприятиях легкой промышленности Республики Беларусь / Ю. А. Медведева, О. В. Жандарова // Вестник Витебского государственного технологического университета. — 2010. — № 2 (19). — С. 162–166.
15. Сергиевич, Т. В. Анализ развития легкой промышленности Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Т. В. Сергиевич // Бизнес. Инновации. Экономика: сб. науч. ст. — Вып. 5. — Минск: Институт бизнеса БГУ, 2021. — С. 70–81. — URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/297307> (дата обращения: 03.04.2026).
16. Ларионов, В. Г. Технологические инновации и формат стартапов в текстильной промышленности / В. Г. Ларионов, Е. Н. Шереметьева, А. В. Балановская // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. — 2023. — № 1 (403). — С. 60–68.
17. Грицевич, С. А. Методика комплексной оценки готовности сторон к участию в межорганизационных взаимодействиях / С. А. Грицевич // Новости науки и технологий. — 2024. — № 4 (71). — С. 25–33.
18. Официальный сайт Национального статистического комитета Республики Беларусь [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.belstat.gov.by> (дата обращения: 01.03.2026).
19. Официальный сайт ОАО «Барановичское производственное хлопчатобумажное объединение» [Электронный ресурс]. — URL: <https://blakit.by> (дата обращения: 12.03.2026).

УДК 334.723

ВОЗВРАТНЫЙ МЕХАНИЗМ ЧАСТНО-ГОСУДАРСТВЕННОГО ПАРТНЕРСТВА В СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЕ НА ПРИМЕРЕ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ КОМПАНИИ

THE RETURN CODE OF PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP IN THE SOCIAL SPHERE: THE EXAMPLE OF A TRANSPORT AND LOGISTICS COMPANY

О. Ю. Лукашкова,

аспирант кафедры «Экономика и логистика им. члена-корреспондента НАН Беларуси, доктора экономических наук, профессора Р. Б. Ивутья» Белорусского национального технического университета, г. Минск, Республика Беларусь

М. К. Жудро,

профессор кафедры «Экономика и логистика им. члена-корреспондента НАН Беларуси, доктора экономических наук, профессора Р. Б. Ивутья» Белорусского национального технического университета, д-р экон. наук, профессор, г. Минск, Республика Беларусь

O. Lukashkova,

Postgraduate Student of the Department "Economics and Logistics named after Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Economics, Professor R. Ivut" of the Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

M. Zhudro,

Professor of the Department "Economics and Logistics named after Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Economics, Professor R. Ivut" of the Belarusian National Technical University, Doctor of Economics, Professor, Minsk, Republic of Belarus

Дата поступления в редакцию — 19.03.2026.

Статья анализирует экономический механизм государственно-частного партнерства в социальной сфере через призму деятельности транспортно-логистической компании, раскрывая инструменты распределения рисков и источники финансирования. Обоснована эффективность интеграции бизнеса в социальные проекты для развития инфраструктуры и создания системы дуального образования при сбалансированном взаимодействии сторон.

This article analyzes the economic mechanism of public-private partnerships in the social sector through the lens of a transport and logistics company, revealing risk-sharing tools and funding sources. It also substantiates the effectiveness of integrating business into social projects for infrastructure development and the creation of a dual education system with balanced interaction between the parties.

Ключевые слова: частно-государственный социально-экономический эффект, возврат подоходного налога, экономический эффект, социально-экономическое развитие, методология оценки.

Keywords: private public social economic effect, income tax refund, economic effect, socio-economic development, assessment methodology.

Введение. В условиях динамично развивающейся экономики и глобализации транспортно-логистические компании играют ключевую роль в обеспечении эффективного функционирования товарных потоков и поддержании конкурентоспособности на рынке. Важность оптимизации процессов в этой сфере становится особенно актуальной, поскольку от качества логистических услуг зависит не только успех отдельных компаний, но и стабильность всей экономики страны.

Одним из значимых аспектов управления транспортно-логистическими компаниями является оценка экономического эффекта, который они могут приносить как для себя, так и для общества в целом. Частный

государственный социальный экономический эффект (ЧГСЭЭ) представляет собой комплексный подход к анализу взаимосвязей между частным сектором и государственными интересами, учитывающий как финансовые результаты деятельности компаний, так и их влияние на социальное благосостояние населения.

Основная часть. В современной экономической литературе дается определение экономического эффекта и социально-экономического эффекта, но при этом данный эффект не позволяет идентифицировать, визуализировать, иллюстрировать и оценивать частный государственный эффект. Частный, государственный и социальный экономический эффект рассматривают как три категории, которые используются для оценки воздействия экономической деятельности на различные группы и аспекты общества. Эти три типа часто анализируются вместе для оценки общей эффективности проектов или инициатив, для понимания их полной ценности для общества.

Социально-экономический эффект — это результат, который возникает при реализации определенных экономических, социальных или политических мероприятий и программ. Он включает в себя как количественные, так и качественные изменения в жизни общества, которые могут быть связаны с улучшением условий жизни, повышением уровня благосостояния, улучшением здоровья, образованием и другими аспектами [1].

Проведенные исследования позволили выделить основные моменты социально-экономического аспекта. К ним относятся: 1) экономический эффект — увеличение рабочих мест, увеличение ВВП, повышение доходов компаний, а следовательно, и населения; 2) социальный эффект — доступ к ресурсам и урегулирование неравенства в доходах, снижение заболеваемости, доступ к образованию и жилью; 3) изменение качественных характеристик общества — увеличение уровня образования, культурного развития населения, социальной сплоченности и т. д.

Социально-экономический эффект позволяет понять, как экономические решения влияют на качество жизни и развития общества в целом. Его общая оценка позволяет прийти к обоснованным политическим и управленческим решениям.

Государственный эффект — это результат деятельности государственных органов и институтов, который проявляется в различных аспектах социально-экономического развития страны.

Результаты деятельности государства влияют на экономическое развитие, политическую стабильность, социальное благосостояние и справедливость, регулирование рынка и охватывает все ключевые направления, как положительные, так и отрицательные. Эффективность деятельности государственного сектора зависит от качества управления, подотчетности и уровня прозрачности.

Частный эффект — это результат деятельности частного сектора, который влияет на экономические и социальные аспекты жизни отдельных лиц, компаний и сообществ. Производство товаров и услуг частным бизнесом приводит к прибыли его владельцев и акционеров, что создает добавленную стоимость. Этот сектор также является источником инноваций. Часто эти компании принимают участие в социальных инициативах (благотворительность, экология, поддержка местных сообществ). Прибыль частных компаний обременяется налогами, которые идут на финансирование государственных программ и услуг. В результате деятельности частного сектора улучшается доступ к товарам и услугам, что также повышает общий уровень благосостояния населения [2].

Вышесказанное позволяет дать определение ЧГСЭЭ как результата взаимовыгодного сотрудничества на основании норм императивного и диспозитивного права и отражает взаимную выгоду между государством и частным сектором экономики. Синергетический эффект такого сотрудничества способствует устойчивому развитию качества жизни населения. Такое сотрудничество приведет к созданию более сбалансированной правовой среды, которая, в свою очередь, приведет к социальной справедливости и экономической эффективности.

Объединение сектора государственного и частного в корпорации сможет играть ключевую роль в экономике и стать ее основным двигателем, способствовать развитию инфраструктуры, генерировать налоги, создавать рабочие места, содействовать технологическому прогрессу и повышению конкурентоспособности.

Глобально такие объединения приведут к выходу на международный рынок, к оптимизации производственных процессов (аутсорсинг), к расширению рынков сбыта. Финансирование проектов и расширение бизнеса корпорации при активном участии в финансовых рынках, привлечении капитала через акции и облигации. Высокая степень конкуренции между корпорациями будет способствовать улучшению качества товаров и услуг, а также снижению цен для потребителей. Корпорации повлияют на различные аспекты жизни общества и экономики в целом. Удержание сотрудников на рабочих местах — это важная задача для любой организации, так как высокая флуктуация персонала [3, с. 270] может привести к значительным затратам и снижению производительности. ЧГСЭЭ будет работать не только во благо бизнеса, но и общества в целом, создавая на рынке труда конкуренцию.

Любая компания ставит перед собой задачу удержать сотрудника на рабочем месте, и мотивация к непрерывной работе является одним из важнейших аспектов деятельности. Существующие стратегии и методы требуют комплексности и пристального внимания руководства. Важно понимать потребности и ожидания сотрудников, создавать условия для их профессионального и личного роста, а также поддерживать позитивную атмосферу в коллективе. Это не только способствует снижению флуктуации персонала, но и повышает общую продуктивность и эффективность работы компании.

Предлагаемая методика возврата подоходного налога основывается на принципе трехстороннего софинансирования, который объединяет экономические интересы сотрудника, частного бизнеса и государства. В традиционных моделях налоговых вычетов государство выступает исключительно в роли пассивного регулятора, возвращающего фиксированный процент от затрат гражданина. В рамках же предлагаемого интеграционного подхода механизм трансформации превращается в активный инвестиционный инструмент. Главным элементом данного подхода является создание «треугольника взаимной выгоды», где каждый вложенный рубль окупается за счет синергетического эффекта.

Переход к маржинальной ставке возврата подоходного налога обусловлен тем, что затраты на удержание и развитие человеческого капитала распределяются между тремя субъектами. Сотрудник обязуется обеспечить непрерывность трудового стажа в течение расчетного периода (12 месяцев) и направляет личные средства на социально значимые нужды: профильное образование, здравоохранение, корпоративный спорт или улучшение жилищных условий. Частный бизнес берет на себя функцию налогового агента, гарантирует стабильность рабочего места, администрирует процесс верификации расходов сотрудников через профильные структурные подразделения и обеспечивает условия роста производительности труда. Государство, в лице государственного сектора бизнеса или налоговых органов, софинансирует этот процесс путем возврата повышенной доли налога. Для государства это выступает не субсидией, а долгосрочной инвестицией в стабильность рынка труда.

В качестве повышения мотивации к непрерывной работе предлагаем методику возврата подоходного налога (ВПН) в конце года сотрудникам компании при условии непрерывной работы в течение года, которая позволяет сотрудникам компании вернуть часть уплаченного подоходного налога.

Чтобы методика сохраняла баланс бюджетной системы, формула возврата подоходного налога увязывается с целевыми расходами сотрудника, которые прямо или косвенно снижают нагрузку на государственную инфраструктуру:

$$\text{ВПН} = \text{Расходы}_{\text{соц}} \times C \times m_{\text{эффект}} \quad (1)$$

где $\text{Расходы}_{\text{соц}}$ — фактически подтвержденные затраты сотрудника на социальные, образовательные или медицинские программы;

C — базовая ставка подоходного налога;

$m_{\text{эффект}}$ — маржинальный коэффициент эффективности, выступающий в роли мультипликатора софинансирования (см. таблицу).

В отличие от стандартной системы, где вычет ограничен жестким верхним порогом и базовой ставкой, интеграционная модель позволяет вернуть сотруднику больший объем средств за счет синергии с работодателем. Риск нецелевого расходования государственного бюджета полностью нивелируется триггерным условием: если сотрудник прерывает стаж до истечения 12 месяцев, право на повышенный коэффициент $m_{\text{эффект}}$ аннулируется.

При выполнении всех условий и проверки необходимых документов сотрудник получает возврат налога на свой банковский счет в оговоренные с работодателем сроки. Возврат подоходного налога для сотрудников позволяет снизить свою налоговую нагрузку и получить дополнительные средства.

Для компании бонус в виде информации о возможности возврата подоходного налога и помощь в этом процессе будет способствовать повышению их мотивации и удержанию в компании. Возврат подоходного налога сотруднику может рассматриваться как дополнительный вклад в общую экономическую эффективность компании.

Сотрудник получает ощутимый кэшбэк в конце года. Его мотивируют не просто «сидеть на месте», а вкладываться в свое развитие, так как вычет привязан к полезным расходам.

Апробация методики расчета возврата подоходного налога при условии непрерывной работы в течение года приведена в таблице.

По данным таблицы, возврат подоходного налога в конце года при условии непрерывной работы в компании тем выше, чем выше сам ежемесячный доход, который зависит, в том числе, от стажа работы.

Такая выплата будет являться стимулирующей для работы в организации продолжительное время, которое для компании также является экономически выгодным (не тратит время на поиск новых сотрудников, их обучение и т. д.)

Представленный расчет наглядно демонстрирует прямую зависимость финансового поощрения от укорененности сотрудника на предприятии. Для молодых специалистов (стаж 1 год) она создает стартовый триггер остаться в компании и не прерывать стаж. Для удержания ключевых опытных кадров (стаж 5 лет) она формирует эксклюзивные условия, которые невозможно получить при переходе к конкурентам. С макроэкономической точки зрения, дополнительная нагрузка на софинансирование выплат (в сумме 1365,00 бел. руб. на трех водителей) полностью нивелируется ликвидацией издержек на флуктуацию [3].

Экономическая целесообразность возврата налога для государственного бюджета обосновывается снижением прямых расходов. Сотрудники самостоятельно оплачивают качественную медицину, образование

Пример расчета возврата подоходного налога (фонд трудовой непрерывности)

2024 год		Водитель			Диспетчер, руб. (<i>m</i> = 20 %)	Менеджер, руб. (<i>m</i> = 35 %)
		стаж 5 лет (<i>m</i> = 50 %)	стаж 3 года (<i>m</i> = 35 %)	стаж 1 год (<i>m</i> = 20 %)		
заработная плата, бел. руб.	январь	1310,00	1357,00	760,00	3488,00	3569,00
	февраль	2223,00	2045,00	1422,00	3488,00	4204,00
	март	2969,00	3813,00	2503,00	3488,00	2677,00
	апрель	908,00	1796,00	2240,00	4056,00	3569,00
	май	3270,00	1648,00	2600,00	3139,00	5000,00
	июнь	4191,00	1494,00	1955,00	3774,00	5000,00
	июль	2025,00	1525,00	2036,00	3481,00	4731,00
	август	3320,00	1904,00	1704,00	3488,00	4731,00
	сентябрь	1495,00	1771,00	2094,00	3488,00	4731,00
	октябрь	2674,00	706,00	2589,00	3488,00	4731,00
	ноябрь	9347,00	4631,00	2500,00	3488,00	4731,00
	декабрь	6575,00	5280,00	4060,00	3488,00	4731,00
	годовой доход	40 307,00	27 970,00	26 463,00	42 354,00	52 405,00
ПНгод, бел. руб. (13 %)		5239,91	3636,1	3440,19	5506,02	6812,65
Социальные расходы сотрудника		10 000,00	10 000,00	10 000,00	10 000,00	10 000,00
Стандартный вычет, ПНгод		1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00
Коэффициент эффективности, <i>m</i>		50 %	35 %	20 %	20 %	35 %
ВПН, бел. руб.		1950,00	1755,00	1560,00	1560,00	1755,00
Реальный рост мотивации		650,00	455,00	260,00	260,00	455,00

Источник: разработка авторов.

и снижают нагрузку на государственные фонд. Повышение квалификации сотрудника ведет к росту его ценности на рынке и, соответственно, к увеличению его доходов. Минимизируются государственные затраты на выплату пособий по безработице и функционирование центров занятости.

Частный бизнес сокращает HR-издержки, генерирует скрытые убытки. Финансовое стимулирование непрерывной работы обойдется компании дешевле, чем регулярная замена персонала. Компания также приобретает статус стратегического партнера государства, что повысит ее привлекательность на рынке труда.

Программы управления персоналом в компаниях играют ключевую роль в обеспечении эффективного функционирования организации и достижении ее стратегических целей. Они включают в себя различные аспекты, направленные на оптимизацию работы с кадрами, развитие сотрудников и создание благоприятной рабочей среды. Возврат подоходного налога (ВПН) поможет компании не только эффективно управлять своими ресурсами, но и создавать условия для роста и развития сотрудников, что, в свою очередь, способствует повышению общей производительности и конкурентоспособности компании, а государству — увеличить налоговые поступления, снижению уровня безработицы, социальной стабильности, стимулированию потребительского спроса и т. д.

Заключение. Таким образом, можно сделать вывод, что ЧГСЭЭ — это совокупность результатов взаимодействия частного сектора (корпораций и бизнеса) и государства, которые влияют на социальное и экономическое развитие общества.

ЧГСЭЭ в транспортно-логистической компании может быть значительным и многообразным, в социальной сфере оптимизирует бюджетную нагрузку и открывает для транспортно-логистических компаний новые стабильные рынки. Успех таких проектов обеспечивается за счет четкого распределения рисков, где государство берет на себя макроэкономические аспекты, а бизнес — операционные.

Эффективное сотрудничество между частным и государственным секторами может привести к улучшению инфраструктуры, созданию рабочих мест, повышению качества жизни и устойчивому развитию экономики. Софинансирование доказывает, что маржинальный возврат налога — это не пассивное социальное пособие, а эффективный драйвер государственно-частного партнерства.

Данную методику возврата подоходного налога можно уже рассматривать и просчитывать на уровне формирования рекомендаций и на основе проведенного анализа разработки рекомендаций по оптимизации бизнес-процессов, улучшению качества услуг и повышению социальной ответственности компании. Эта методика позволит комплексно подойти к оценке ЧГСЭЭ в транспортно-логистической компании и обосновать целесообразность инвестиций и изменений в бизнес-процессах.

Список цитируемых источников:

1. Руднева, Е. Экономический эффект [Электронный ресурс]. — URL: https://www.banki.ru/wikibank/ekonomicheskij_effekt (дата обращения: 24.04.2025).
2. Баранов, В. И. Взаимосвязь государства и частного бизнеса в рамках значимых социально-экономических проектов / В. И. Баранов, А. В. Агошкова [Электронный ресурс]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vzaimosvyaz-gosudarstva-i-chastnogo-biznesa-v-ramkah-realizatsii-znachimyh-sotsialno-ekonomicheskikh-proektov/viewer> (дата обращения: 24.04.2025).
3. Лукашкова, О. Ю. Теоретическое исследование флуктуации персонала / О. Ю. Лукашкова // Устойчивое развитие регионов России в эпоху трансформационных процессов: сборник материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. (Чебоксары, 17 июня 2024 г.) / гл. ред. Н. В. Морозова. — Чебоксары: Среда, 2024. — С. 270–274.

УДК 338

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМАТИКИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

ANALYSIS OF ISSUES OF INNOVATIVE DEVELOPMENT THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

Хо Чаоцзе,

аспирант УО «Полоцкий государственный университет имени Ефросинии Полоцкой»,
г. Новополоцк, Республика Беларусь

Huo Chaojie,

Postgraduate Student of the EI “Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk”,
Novopolotsk, Republic of Belarus

Дата поступления в редакцию — 24.02.2026.

В статье рассматриваются современные тенденции и направления инновационного развития агропромышленного комплекса Китайской Народной Республики. Актуальность темы обусловлена необходимостью обеспечения продовольственной безопасности, устойчивого развития сельских территорий и повышения конкурентоспособности аграрного сектора на глобальном рынке в условиях демографических изменений и нарастающих экологических вызовов.

The article examines current trends and directions of innovation in the Agro-Industrial Complex of the People's Republic of China. The relevance of the topic is driven by the need to ensure food security, sustainable development of rural areas, and increase the competitiveness of the agricultural sector in the global market amidst demographic changes and growing environmental challenges.

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, инновационное развитие, инновация, цифровизация, роботизация, биотехнологии, устойчивое развитие, государственное регулирование, искусственный интеллект, продовольственная безопасность, холодовые цепи.

Keywords: agro-industrial complex, innovative development, innovation, digitalization, robotics, biotechnology, sustainable development, state regulation, artificial intelligence, food security, cold chains.

Введение. В настоящее время инноватизация сельского хозяйства предполагает внедрение цифровизации, искусственного интеллекта, а также применение других передовых технологий [1]. Важно отметить, что Китайская Народная Республика (КНР) демонстрирует один из наиболее успешных примеров комплексного подхода к инновационному развитию аграрного сектора. В отличие от ряда стран, где инновации внедряются точно, в КНР реализуется стратегия цифровой трансформации, интегрирующая государственное регулирование, инвестиции в науку и технологии, а также развитие специализированных инновационных кластеров и инфраструктуры холодовых цепей (системы контроля температуры при транспортировке и хранении скоропортящейся

продукции) [2, 3]. Однако, несмотря на впечатляющие достижения, процесс инновационной модернизации агропромышленного комплекса (АПК) КНР сопряжен с рядом системных проблем, требующих научного анализа и выработки адекватных управленческих решений.

Анализ научной литературы показывает, что вопросы инновационного развития АПК активно исследуются как зарубежными, так и отечественными учеными [4, 5]. Несмотря на значительное внимание к проблеме инноваций в сельском хозяйстве, систематизация проблематики и формирование целостной модели государственного регулирования для их решения остается недостаточно проработанным [6]. Это определяет актуальность проведенного исследования, цель которого заключается в выявлении проблем инновационного развития аграрного сектора КНР и формировании модели государственного регулирования, направленной на их преодоление.

Цель исследования: научно обоснованный анализ проблем инновационного развития агропромышленного комплекса КНР и разработка концептуальной модели, позволяющей идентифицировать и минимизировать риски, связанные с цифровизацией, автоматизацией и внедрением биотехнологий.

Основная задача исследования: определить ключевые проблемы инновационного развития АПК КНР и разработать модель государственного регулирования этого процесса, направленную на их решение.

В исследовании использованы данные официальной статистики КНР, научные публикации, а также материалы государственных программ развития сельского хозяйства.

Объект исследования: агропромышленный комплекс КНР как социально-экономическая и институционально регулируемая система в условиях технологической трансформации с акцентом на анализ возникающих проблем.

Предмет исследования: проблемные аспекты нормативно-правовых и финансово-инфраструктурных мер государства в области инновационного развития АПК КНР, технологических решений, организационных форматов, а также их измеримые результаты.

Методы исследования включают: анализ научной литературы, статистический анализ, сравнение и аналогии, графические и расчетно-конструктивные методы.

Основная часть. Значительный вклад в развитие данного вопроса внесли Н. К. Соколовский и Л. А. Сошникова. В исследованиях Н. К. Соколовского выявлена проблематика сопряжения технологических решений (точное земледелие, биотехнологические практики) с механизмами финансирования и страхования. Автор указывает на необходимость интеграции макро- и микроуровневых метрик для повышения воспроизводимости выводов. Л. А. Сошникова, развивая эмпирическую повестку, выявляет системные узкие места инновационного развития: фрагментарность внедрения цифровых решений в сегменте малых и средних хозяйств; недостаточную интеграцию «зеленых» метрик в оценку программ; риски технологического неравенства и кадровые ограничения. Таким образом, исследовательский акцент смещается с описания успехов на анализ проблем и поиск путей их решения. Отметим, что необходимость интеграции, подкрепленной единой системой измеримых индикаторов и публичной верификацией данных, последовательно устанавливают белорусские и российские ученые, такие как Н. К. Соколовский, Л. А. Сошникова, В. И. Гусаков, Н. И. Шагайда и Л. М. Узун, а также зарубежные исследователи, такие как J. Huang, S. Rozelle, S. Fan, L. Zhang, X. Wang, M. Porter.

Обобщим современные проблемные аспекты и направления их решения в трудах отечественных и зарубежных исследователей в табл. 1.

Таблица 1

Проблематика и направления инновационного развития АПК

Автор	Страна	Выявленные проблемы и направления их решения	Источник
Н. К. Соколовский	Республика Беларусь	Проблема сопряжения технологических решений с механизмами финансирования и страхования; необходимость интеграции технологий, институтов и метрик	Соколовский, Н. К. Инновационное развитие АПК: теория и практика / Н. К. Соколовский. — Минск: Белорусская наука, 2021
Л. А. Сошникова	Республика Беларусь	Проблема фрагментарности внедрения цифровых решений; недостаточная интеграция «зеленых» метрик; риски технологического неравенства и кадровые ограничения	Сошникова, Л. А. Статистические методы анализа инновационной деятельности / Л. А. Сошникова. — Минск: БГУ, 2020
В. И. Гусаков	Республика Беларусь	Проблема комплексного управления инноватизацией; необходимость сопряжения цифровых технологий с мерами господдержки и внедрения публичного мониторинга	Гусаков, В. И. Аграрная экономика: инновационные механизмы развития / В. И. Гусаков. — Минск: Белорусская наука, 2019

Автор	Страна	Выявленные проблемы и направления их решения	Источник
Н. И. Шагайда, Л. М. Узун	Российская Федерация	Проблема институционально-финансовой поддержки инноваций; необходимость интеграции цифровых решений с финансово-страховыми механизмами; создание единого контура мониторинга для сопоставимости результатов	Шагайда, Н. И. Развитие аграрной политики в России / Н. И. Шагайда, Л. М. Узун. — М.: РАНХиГС, 2021
J. Huang, S. Fan, L. Zhang, X. Wang	КНР	Проблема реализации комплексной модели цифрового сельского хозяйства; необходимость сочетания стандартизированных показателей, инвестиционных стимулов и экологических целей в государственной политике	Huang, J. Agricultural and rural development in China / J. Huang, S. Rozelle, X. Wang // China Economic Review. — 2018
S. Rozelle, M. Porter	США	Проблема повышения эффективности и прозрачности инновационных процессов; необходимость единых метрик конкурентоспособности и открытой верификации данных	Rozelle, S. Success and failure of reform: Insights from China / S. Rozelle, J. Swinnen // Journal of Economic Literature. — 2019

Источник: разработка автора.

Таким образом, анализ представленных проблем свидетельствует о формировании новой парадигмы развития агропромышленного комплекса, основанной на технологической интеграции, экологизации и цифровизации производственных процессов, при этом исследователи сходятся во мнении о наличии системных барьеров, требующих комплексного государственного регулирования. Китайские авторы (J. Huang, S. Fan, L. Zhang, X. Wang) фокусируются на проблемах реализации комплексной модели цифрового сельского хозяйства, где необходимо сочетание стандартизированных показателей, инвестиционных стимулов и экологических целей. Зарубежные специалисты S. Rozelle и M. Porter дополняют эту концепцию проблематикой эффективности и прозрачности инновационных процессов. По мнению автора, совокупность представленных подходов указывает на необходимость перехода от разрозненных инноваций к системной модели устойчивого развития АПК, в которой технологические, экономические и экологические параметры объединяются в единую систему, способную адресовать существующие проблемы.

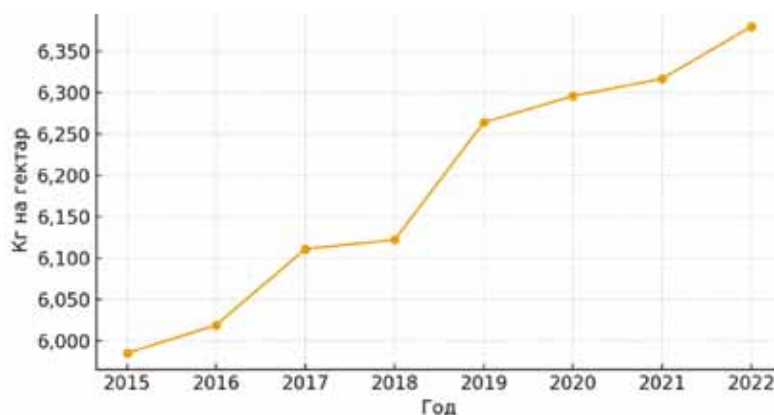


Рис. 1. Средняя урожайность зерновых культур в КНР за 2015–2022 гг., кг/га

Источник: разработка автора.

Анализ динамики урожайности зерновых культур в КНР за 2015–2022 гг. (рис. 1) демонстрирует устойчивый рост, что частично свидетельствует об эффективности внедряемых инновационных технологий в растениеводстве. Как видно из графика, средняя урожайность в 2022 г. увеличилась с 5995,0 до 6360,0 кг/га, что на 6,1 % выше показателей 2015 г. [7]. Однако, как отмечают исследователи, данный рост неравномерен по регионам и не в полной мере отражает решение проблемы технологического разрыва между крупными агрохолдингами и мелкими хозяйствами [11]. Оптимизация использования удобрений под выращивание зерновых культур в КНР за 2012–2022 гг. [7] приведена на рис. 2.

Важным аспектом инновационного развития АПК КНР является оптимизация ресурсопотребления. Данные о внесении удобрений под зерновые культуры (см. рис. 2) отражают снижение их расхода на 25 % за 2015–2022 гг., что связано с переходом на технологии точного земледелия и использованием дронов для адресного внесения агрохимикатов [7]. Следует отметить, что, несмотря на позитивную динамику, проблема неравномерного

доступа к этим технологиям сохраняется, особенно в сегменте малых и средних хозяйств, что создает риски технологического неравенства [12].

Сравнительный анализ инновационной активности КНР, России и Беларуси, представленный в табл. 2, подтверждает лидерство Китая в данной сфере. Согласно Глобальному индексу инноваций (Global Innovation Index, GIИ), рассчитываемому Всемирной организацией интеллектуальной собственности (WIPO) на основе 78 показателей, значение индекса КНР выросло с 50,60 в 2016 г. до 55,31 в 2023 г., тогда как в России и Беларуси зафиксирована отрицательная динамика. Однако, как показывают исследования, даже при высоких значениях индекса сохраняется проблема технологического отставания в некоторых секторах АПК, а также неравномерность инновационного развития между регионами [4]. Это обусловлено как успехами комплексной государственной политики, включающей финансирование НИОК(Т)Р и создание технологических парков, так и наличием нерешенных проблем, требующих дальнейшего совершенствования механизмов регулирования [8].

В 2024 г. Министерство сельского хозяйства КНР утвердило пятилетний план развития умного сельского хозяйства, направленный на цифровизацию всей цепочки агропроизводства [9], при этом анализ практики реализации подобных программ выявляет проблему недостаточной координации между различными уровнями управления и сложности с адаптацией технологий к местным условиям [4].

Создание таких научно-технологических парков, как национальный парк сельскохозяйственной науки и техники в г. Чанцзи, способствует коммерциализации инноваций и повышению конкурентоспособности АПК [10]. Вместе с тем исследователи отмечают проблему неравномерного доступа к этим инновациям для малых и средних хозяйств, а также недостаточный уровень подготовки кадров для работы с новыми технологиями [12]. Предлагаемая модель государственного регулирования инновационного развития АПК КНР (рис. 3) направлена на решение выявленных проблем и включает следующие направления:

1. Нормативно-правовая основа базируется на государственном регулировании процесса инновационного развития в КНР, а именно: на целевых программах (5-летний план развития умного сельского хозяйства до 2028 г.); законодательных актах, закрепляющих цифровизацию как приоритет (с 2018 г.); технических регламентах с обязательным включением цифровых технологий в производственные процессы, например утверждение Министерством сельского хозяйства КНР в 2024 г. плана по тотальной цифровизации сельхозтехники.

2. Финансово-инфраструктурные механизмы, которые включают три ключевых элемента: финансирование НИОК(Т)Р через специализированные фонды («Цифровое сельское хозяйство»); субсидирование закупок (беспилотной техники (агродроны), ИИ-систем для мониторинга); создание инновационных кластеров (научно-технологических парков, например в Чанцзи на 34 тыс. га), а также демонстрационные зоны высоких технологий. Использование дронов на рисовых плантациях дает экономию 40 тыс. юаней на хозяйство [11].

3. Технологическая интеграция, которая реализуется через внедрение: цифровых платформ (AgriCloud для управления bigdata), прецизионных технологий (ИИ-прогнозирование урожайности), системы точного земледелия, биотехнологий (ГМ-культуры, устойчивые к засолению почв).

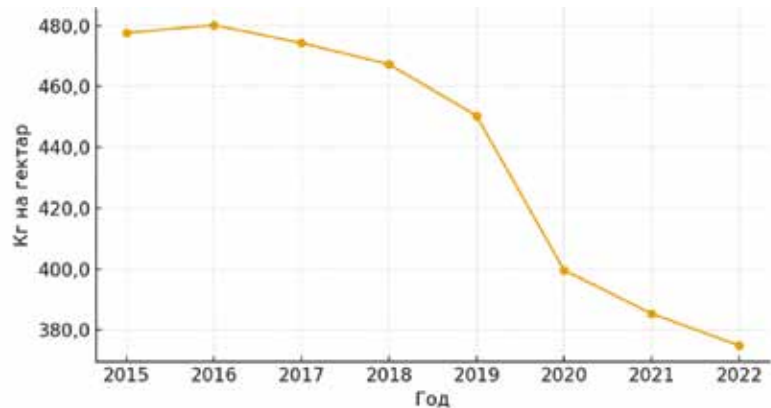


Рис. 2. Внесение удобрений под зерновые культуры в КНР за 2015–2022 гг., кг/га

Источник: разработка автора.

Таблица 2

Динамика индекса инноваций КНР в сравнении с показателями Российской Федерации и Республики Беларусь

Годы	Значение индекса инноваций (пункты)		
	КНР	Российская Федерация	Республика Беларусь
2016	50,60	38,50	30,40
2017	52,50	38,80	30,00
2018	53,10	37,90	29,40
2019	54,80	37,60	32,10
2020	53,30	35,60	31,30
2021	54,80	36,60	32,60
2022	55,30	34,30	27,50
2023	55,31	33,31	26,84

Источник: собственная разработка на основании [8].

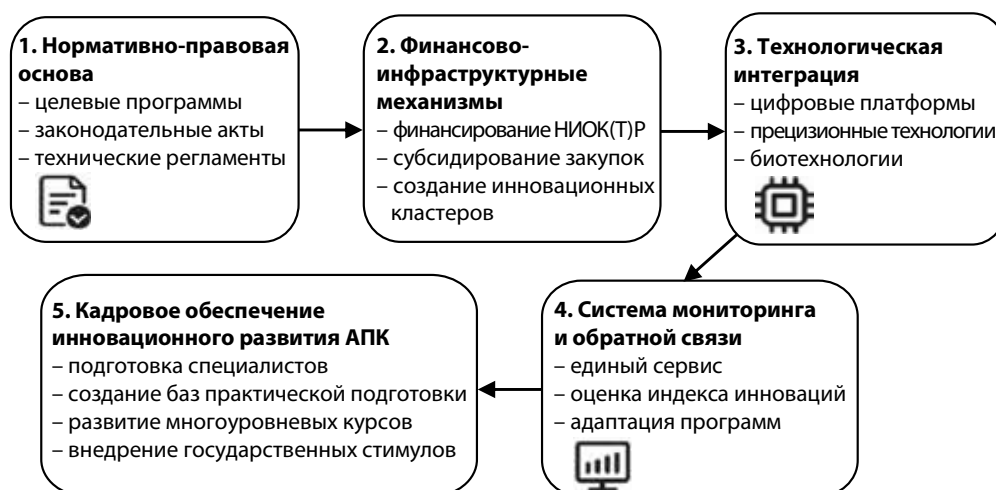


Рис. 3. Модель государственного регулирования инновационного развития АПК КНР

Источник: собственная разработка автора.

4. Система мониторинга и обратной связи, которая включает в себя: единый государственный сервис для сбора данных; регулярную оценку Глобального индекса инноваций (ГИИ) (рост с 50,6 до 55,3 пунктов за 2016–2023 гг.); адаптацию программ по результатам пилотных проектов.

5. Кадровое обеспечение инновационного развития АПК включает: подготовку специалистов в области агроинформатики, биотехнологий и управления данными в рамках государственных образовательных программ; создание баз практической подготовки на базе ведущих аграрных университетов КНР; развитие многоуровневых курсов повышения квалификации для фермеров и агроспециалистов (онлайн-обучение, демонстрационные центры, практико-ориентированные тренинги); внедрение государственных стимулов для привлечения молодых специалистов в сельское хозяйство, включая целевые гранты и субсидии. Данный блок модели призван решить проблему кадрового дефицита, которая, по данным исследований, является одним из главных барьеров на пути внедрения инноваций в АПК [4].

Данный элемент обеспечивает воспроизводство квалифицированных кадров, что является необходимым условием устойчивого инновационного развития АПК. Он играет системообразующую роль в повышении эффективности инновационных процессов, поскольку уровень подготовки специалистов напрямую определяет способность аграрных предприятий к внедрению и адаптации цифровых, биотехнологических и роботизированных решений. В условиях КНР развитие агроинформатики, образовательных программ для фермеров и подготовки специалистов в области анализа данных способствует снижению барьеров внедрения инноваций и ускоряет их диффузию.

Практика показывает, что в регионах с более высоким уровнем кадрового обеспечения наблюдается более интенсивное внедрение технологий точного земледелия, цифровых платформ и систем искусственного интеллекта, что напрямую отражается на росте производительности и снижении ресурсных затрат. Таким образом, кадровый фактор выступает не только как сопутствующее условие, но и как ключевой драйвер устойчивости и воспроизводимости инновационных процессов.

Отметим, что ключевыми принципами модели являются: комплексность (охват всех уровней АПК), гибкость (корректировка программ каждые 5 лет), синергия государства, науки и бизнеса. Систематизированы механизмы китайской модели с выделением пяти взаимосвязанных компонентов, доказавших эффективность на практике в решении выявленных проблем.

Теоретическая значимость предлагаемой модели концептуализирует инновационное развитие АПК как целостный контур государственного регулирования, интегрирующий нормативно-правовой, финансово-инфраструктурный, технологический и мониторинговый блоки. Модель позволяет идентифицировать проблемные зоны и предлагать механизмы их минимизации.

Практическая значимость модели заключается в операционных механизмах реализации инновационной повестки (инструменты финансирования и субсидирования, кластерная и реестровая инфраструктура, цифровые платформы управления, система метрик и обратной связи), что обеспечивает решение проблем повышение продуктивности и прослеживаемости, снижение ресурсной и экологической нагрузки, а также масштабируемость успешных решений и трансфер опыта КНР в национальные стратегии модернизации сельского хозяйства других стран.

Экономическая эффективность заключается во влиянии предлагаемой модели на преодоление проблем низкой результативности АПК и оптимизацию издержек. Интеграция цифровых и биотехнологических решений обеспечивает рост производительности труда, снижение затрат на материально-технические ресурсы, повышение коэффициента использования земельных угодий и устойчивость урожайности. Совокупный экономический эффект выражается в увеличении валовой добавленной стоимости сельского хозяйства, сокращении транзакционных издержек за счет цифровизации цепочек поставок, ускорении окупаемости инвестиций в инновационную инфраструктуру и укреплении экспортного потенциала АПК КНР. Таким образом, модель демонстрирует способность генерировать устойчивый финансовый результат при одновременном снижении рисков и ресурсоемкости агропроизводств.

Результаты исследования подтверждают системный характер инновационного развития АПК КНР. На основе статистических данных и анализа государственных программ можно выделить несколько ключевых проблемных аспектов и направлений их решения.

Во-первых, несмотря на достигнутые успехи в области цифровизации (создание национальных платформ, внедрение систем точного земледелия и прогнозирования урожайности с использованием искусственного интеллекта), сохраняется проблема неравномерности внедрения цифровых решений в сегменте малых и средних хозяйств, а также недостаточная интеграция «зеленых» метрик в оценку эффективности программ [12].

Во-вторых, проблема активного развития финансово-инфраструктурных механизмов осложняется рисками технологического неравенства и кадровыми ограничениями. Создание инновационных кластеров, субсидирование закупки агродронов и ИИ-систем, а также финансирование НИОК(Т)Р через специализированные фонды формируют основу для дальнейшего повышения конкурентоспособности сектора, но требуют более совершенных механизмов контроля и адаптации.

В-третьих, проблема технологической интеграции связана с необходимостью преодоления технологических разрывов между регионами и категориями хозяйств. Широкое использование биотехнологий, роботизированных систем и беспилотной техники, позволившее сократить издержки на 40 тыс. юаней в расчете на хозяйство [11], требует дальнейшего совершенствования механизмов распространения и адаптации.

В-четвертых, установлено, что проблема кадрового обеспечения является критической для эффективности внедрения инноваций: дефицит подготовленных специалистов в области цифровых технологий и агроаналитики сдерживает адаптацию инновационных решений и снижает устойчивость инновационного развития АПК.

Сравнительный анализ инновационной активности КНР, России и Беларуси показывает лидерство Китая: Глобальный индекс инноваций (ГИИ) вырос с 50,60 в 2016 г. до 55,31 в 2023 г., тогда как в Российской Федерации и Республике Беларусь зафиксирована отрицательная динамика. Это свидетельствует об относительной эффективности комплексной государственной политики, включающей как правовое регулирование, так и стимулирование технологических решений, однако не снимает проблемы системных рисков и неравномерности развития.

Заключение. Таким образом, по результатам проведенного исследования можно сделать вывод о том, что анализ проблематики инновационного развития АПК в контексте китайской практики выявляет как значительные успехи, так и системные вызовы, связанные с формированием устойчивых, высокотехнологичных и ресурсоэффективных систем агропромышленного производства, основанных на цифровизации процессов, интеграции биотехнологий, развитии кластерной инфраструктуры, совершенствовании кадровой подготовки и повышении управляемости производственных цепочек. Международный опыт показывает, что инновации становятся ключевым фактором роста продовольственной безопасности, конкурентоспособности сельского хозяйства и адаптации отрасли к глобальным климатическим и экономическим вызовам.

Результаты исследования подтверждают, что, несмотря на комплексную модель государственного регулирования, включающей нормативно-правовую, финансово-инфраструктурную, технологическую, кадровую и мониторинговую блоки, сохраняются проблемы неравномерности внедрения, кадрового дефицита и технологических рисков. Китайская модель ориентирована на ускоренное внедрение цифровых и прецизионных технологий, формирование научно-технологических кластеров, развитие человеческого капитала, повышение производительности и снижение ресурсной нагрузки на агросистемы. Она демонстрирует как успешные механизмы решения проблем, так и зоны, требующие дальнейшего совершенствования.

Проведенное исследование позволило выявить ключевые проблемы инновационного развития АПК КНР и доказать, что процесс инновационного развития носит комплексный характер и сопряжен с рядом системных вызовов. Он включает не только внедрение современных цифровых, роботизированных и биотехнологических решений, но и формирование институциональной среды, в которой важную роль играет кадровая подготовка — подготовка специалистов по агроинформатике, биотехнологиям, управлению данными, а также многоуровневые программы обучения фермеров и агроспециалистов. Особенность Китая заключается в системности инновационной политики: страна реализует долгосрочную стратегию цифровой трансформации АПК, задающую новые стандарты эффективности, устойчивости и экологической безопасности при сохранении проблем технологического неравенства и кадрового дефицита.

Институциональная поддержка, включающая целевые программы, законодательные инициативы, создание научно-технологических парков и демонстрационных зон высоких технологий, а также программы подготовки кадров, формирует условия для роста инновационной активности и масштабирования успешных решений. Наряду с повышением урожайности и снижением затрат значимым приоритетом становится экологизация сельского хозяйства, соответствующая глобальному тренду «зеленого» развития.

Систематизация технологических трендов (цифровые платформы, точное земледелие, ИИ и роботизация, биотехнологии) и институциональных механизмов (нормативные программы, финансирование НИОК(Т)Р, кластеризация, кадровая подготовка) позволила сформировать целостную модель из пяти взаимосвязанных блоков: нормативно-правового, финансово-инфраструктурного, технологической интеграции, мониторинга и кадрового обеспечения инновационного развития. Эмпирическая проверка на основе официальных статистических данных подтверждает достижение целевых эффектов: рост урожайности зерновых, снижение удельного расхода удобрений, развитие человеческого капитала и повышение инновационной активности, при этом модель позволяет адресовать выявленные проблемы, такие как кадровый дефицит и технологическое неравенство.

Экономическая эффективность разработанной модели проявляется в устойчивом увеличении валовой добавленной стоимости аграрного сектора, снижении издержек, повышении результативности использования ресурсов, уменьшении транзакционных затрат и повышении рентабельности аграрных предприятий. Интеграция цифровых технологий, развитие биотехнологий и повышение квалификации кадров обеспечивают ускорение оборота капитала, снижение рисков и рост инвестиционной привлекательности аграрной отрасли.

Научная новизна исследования заключается в разработке концептуальной модели государственного регулирования как инструмента анализа и решения проблем инновационного развития АПК КНР, включающей пять взаимосвязанных блоков, среди которых кадровый компонент представлен как ключевое условие устойчивости и воспроизводимости инновационных процессов. Модель позволяет комплексно оценивать проблемные зоны внедряемых технологий и корректировать стратегию развития с учетом социально-экономической динамики.

Практическая значимость исследования для КНР заключается в том, что предложенная модель способствует оптимизации механизмов регулирования инновационного развития АПК в целях преодоления выявленных проблем, повышению эффективности программ цифровизации, улучшению качества управленческих решений, расширению подготовки кадров для аграрной отрасли и укреплению продовольственной безопасности. Кроме того, она служит прикладным инструментом для корректировки текущих и разработки новых государственных программ модернизации сельского хозяйства, обеспечивая согласованность действий государства, науки и бизнеса.

Для мировой науки и практики анализ проблем и успехов КНР представляет высокую ценность как пример преодоления вызовов, обеспечивающих устойчивое развитие АПК в условиях глобальных трансформаций.

Список цитируемых источников:

1. Ерохин, В. Л. Агропромышленный комплекс Китая в современных условиях: производство, торговля, логистика / В. Л. Ерохин // Маркетинг и логистика. — 2023. — № 4 (48). — С. 25–33.
2. Ибрагимова, Н. Т. Инновации в АПК. Устойчивое развитие: анализ тенденций российской и мировой экономики / Н. Т. Ибрагимова. — Махачкала, 2023. — С. 447–450.
3. ChinaEconomicIndicators 2024 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.theglobaleconomy.com/China>. — Дата доступа: 15.07.2024.
4. Shufeng, W. Research on Problems and Strategies of Modern Large-Agriculture Development in Heilongjiang Province Land Reclamation / W. Shufeng, L. Xiaolei // HansJournalofAgriculturalSciences. — 2022. — No. 8 (2).
5. Министерство сельского хозяйства КНР. Отчет о развитии сельского хозяйства. — 2023. — С. 102–110.
6. Цифровизация сельского хозяйства в Китае / Под ред. Ли Чанъюня. — Пекин: Наука, 2022.
7. Национальное бюро статистики КНР. Урожайность зерновых культур в Китае за 2015–2022 гг. [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.stats.gov.cn> (дата обращения: 15.07.2024).
8. Цзян, С. Агродроны и точное земледелие в КНР: перспективы и вызовы / С. Цзян. — Пекин: Академия сельскохозяйственных наук, 2023.
9. Международный индекс инноваций. Влияние инновационной политики на экономическое развитие [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.globalinnovationindex.org> (дата обращения: 15.07.2024).
10. Министерство сельского хозяйства КНР. Национальный план цифрового сельского хозяйства 2024–2028 гг. [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.moa.gov.cn> (дата обращения: 15.07.2024).
11. Умное сельское хозяйство в Китае стало привычной практикой [Электронный ресурс]. — URL: <https://news.rambler.ru/tech/51235579> (дата обращения: 15.07.2024).
12. Соколовский, Н. К. Инновационное развитие АПК: теория и практика / Н. К. Соколовский. — Минск: Белорусская наука, 2021.
13. Сошникова, Л. А. Статистические методы анализа инновационной деятельности / Л. А. Сошникова. — Минск: БГУ, 2020.
14. Гусаков В. И. Аграрная экономика: инновационные механизмы развития / В. И. Гусаков. — Минск: Белорусская наука, 2019.
15. Шагайда Н. И., Узун Л. М. Развитие аграрной политики в России / Н. И. Шагайда, Л. М. Узун. — М.: РАНХиГС, 2021.
16. Huang J., Rozelle S., Wang X. Agricultural and rural development in China // China Economic Review. — 2018.
17. Rozelle S., Swinnen J. Success and failure of reform: Insights from China // Journal of Economic Literature. — 2019.

УДК 001.89

МИР ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ: РОЛЬ И ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЭКСПЕРТОВ

THE WORLD OF STATE EXPERTISE: THE ROLE AND RESPONSIBILITIES OF EXPERTS

А. М. Николайчук,

заведующий отделом научно-методического обеспечения государственной экспертизы ГУ «Белорусский институт системного анализа и информационного обеспечения научно-технической сферы», канд. биол. наук, г. Минск, Республика Беларусь

Е. П. Соломко,

старший научный сотрудник отдела научно-методического обеспечения государственной экспертизы ГУ «Белорусский институт системного анализа и информационного обеспечения научно-технической сферы», г. Минск, Республика Беларусь

Е. М. Сивец,

заведующий сектором государственной научной экспертизы отдела научно-методического обеспечения государственной экспертизы ГУ «Белорусский институт системного анализа и информационного обеспечения научно-технической сферы», г. Минск, Республика Беларусь

A. Nikolaychuk,

Head of the Department of Scientific and Methodological Support for State Expertise, State Institution "Belarusian Institute of System Analysis and Information Support for Scientific and Technical Sphere", PhD in Biology, Minsk, Republic of Belarus

E. Solomko,

Senior Researcher, Department of Scientific and Methodological Support for State Expertise, State Institution "Belarusian Institute of System Analysis and Information Support for Scientific and Technical Sphere", Minsk, Republic of Belarus

E. Sivets,

Head of the State Scientific Expertise Sector, Department of Scientific and Methodological Support for State Expertise, State Institution "Belarusian Institute of System Analysis and Information Support for Scientific and Technical Sphere", Minsk, Republic of Belarus

Первым этапом прохождения государственной научной и государственной научно-технической экспертиз является рассмотрение проектов заданий экспертами. Приведены наиболее частые ошибки экспертов при оценке объекта экспертизы, дана их характеристика, а также пути минимизации. Отражены общие сведения об экспертах, зарегистрированных в ИАС «Единая экспертиза». Сделаны выводы о целесообразности разработанных Методических рекомендаций по заполнению форм заключений экспертов и заключений государственных экспертных советов. Показана работа, проводимая национальным оператором — государственным учреждением «Белорусский институт системного анализа и информационного обеспечения научно-технической сферы» (национальный оператор) с экспертным сообществом.

The first stage of the state scientific and state scientific-technical examination is the review of draft assignments by experts. The most common errors made by experts when assessing an object of examination are presented, their characteristics are given, as well as ways to minimize them. General information about experts registered in the Unified Expertise Information System is reflected. Conclusions have been drawn regarding the appropriateness of the developed Methodological Recommendations for filling out forms of expert opinions and opinions of state expert councils in order to reflect the completeness, content and argumentation of the information presented in the opinions. The work carried out by the national operator — the state institution "Belarusian Institute of System Analysis and Information Support for Science and Technology" (the national operator) — with the expert community is shown.

Ключевые слова: государственные экспертные советы, государственная экспертиза, экспертные заключения, методические рекомендации, критерии оценки объекта экспертизы.

Keywords: state expert councils, state examination, expert opinions, methodological recommendations, criteria for assessing the object of examination.

Введение. Конец пятилетнего периода 2021–2025 гг. в системе государственной научной и государственной научно-технической экспертиз (экспертиза, государственная экспертиза) был достаточно интенсивный в связи с активным направлением заказчиками на экспертизу проектов заданий государственных программ научных исследований (ГПНИ), государственных программ (ГП), а также государственных научно-технических программ (ГНТП), поскольку на этапе начала нового пятилетнего цикла 2026–2030 гг. постановлениями Совета Министров Республики Беларусь утверждены новые перечни программ:

- перечень ГПНИ на 2026–2030 гг. утвержден постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 9 октября 2025 г. № 555 «О Перечне государственных программ научных исследований на 2026–2030 гг.», который включает 12 программ и порядка 2500 заданий [1];
- перечень ГП на 2026–2030 гг. утвержден постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 31 октября 2025 г. № 602 «Об утверждении перечня государственных программ на 2026–2030 гг.», в данный перечень входит ГП «Наука для экономики и общества», которая включает 4 подпрограммы и порядка 200 мероприятий [2];
- перечень ГНТП на 2026–2030 гг. утвержден постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 10 декабря 2025 г. № 717 «О перечнях государственных и региональных научно-технических программ на 2026–2030 гг.», который включает 20 ГНТП, 6 региональных научно-технических программ [3].

Статистические данные. В 2025 г. в государственные экспертные советы (ГЭС) поступило 2004 объекта экспертизы, из которых две трети от общего количества (1336, или 66,7 %) были направлены на государственную экспертизу в последний квартал 2025 г. Наибольшее количество объектов экспертизы за этот период поступило в следующие ГЭСы:

- ГЭС № 12 «Открытые конкурсы отдельных проектов научных исследований» — 250;
- ГЭС № 7 «Сельскохозяйственные науки и технологии» — 178;
- ГЭС № 3 «Материаловедение, промышленные и строительные технологии, оборудование и производства» — 149;
- ГЭС № 1 «Естественные науки» — 144.

За IV квартал 2025 г. рассмотрено на 61,5 % (997) объектов экспертизы больше, чем за предыдущие три квартала. Таким образом, нагрузка, пришедшаяся на информационно-аналитическую систему «Единая экспертиза» (ИАС «Единая экспертиза»), на ГЭСы и независимых экспертов в IV квартале 2025 г. возросла многократно.

Первый этап экспертизы — работа экспертов. Государственная научная и научно-техническая экспертизы проводятся в три этапа:

1. Проведение государственной экспертизы экспертами (с формированием экспертного заключения).
2. Рассмотрение объекта государственной экспертизы на заседании научной (научно-технической) секции ГЭС (с формированием протокола заседания секции).
3. Рассмотрение объекта государственной экспертизы на заседании бюро ГЭС (с формированием заключения ГЭС).

Одним из важнейших этапов прохождения государственной экспертизы является 1-й этап. Основой государственной экспертизы в Республике Беларусь является высокая компетентность и ответственность специалистов, участвующих в системе государственной экспертизы, а именно экспертов и членов ГЭС. Эксперты — это весьма важные звенья механизма контроля и оценки, обеспечивающего качество проектов, материалов и решений, влияющих на развитие научной деятельности в республике. Основной задачей экспертов является объективная оценка представленных на государственную экспертизу материалов и обеспечение бесперебойного функционирования системы государственной экспертизы. Несомненно, работа эксперта весьма ответственная и требует высокой профессиональной компетенции, внимательности к деталям, объективности, а также соблюдения сроков подготовки экспертных заключений и сохранения полной конфиденциальности.

База экспертов и характеристика работы экспертов. По состоянию на 10 апреля 2026 г. в ИАС «Единая экспертиза» в качестве экспертов зарегистрированы 2724 человека (из которых 863 — доктора наук, 1749 — кандидаты наук и 112 — не имеющие ученой степени), представляющие 23 отрасли науки. Наибольшее число экспертов являются специалистами в области технических наук (20 % от всей численности экспертов). Самую малочисленную по составу группу экспертов представляют архитекторы (зарегистрировано всего 3 специалиста).

В табл. 1 приводятся сведения о количественном составе экспертного сообщества по отраслям наук (сведения приведены в порядке убывания по отраслям).

В 2025 г. с экспертами заключено максимальное количество договоров — 3572. Для сравнения: в 2024 г. заключено 1672 договора, что меньше в 2 раза (рис. 1).

Количественный анализ заключенных с экспертами договоров по месяцам в 2025 г. показал, что в декабре на долю экспертов выпало в 2 раза больше работы (1181 договор), чем в октябре и ноябре (536 и 601 договор соответственно) (рис. 2).

Из представленных данных можно сделать вывод о значительной работе, выполненной ГЭСами, экспертами и национальным оператором, в связи с началом нового цикла ГП, ГНТП и ГПНИ на 2026–2030 гг.

Таблица 1

Численность экспертов в ИАС «Единая экспертиза» по отраслям науки

Отрасль науки	Численность экспертов, чел.		
	всего	доктора наук	кандидаты наук
Технические науки	552	147	405
Медицинские науки	418	206	212
Физико-математические науки	346	152	194
Биологические науки	262	57	205
Сельскохозяйственные науки	177	47	130
Экономические науки	167	45	122
Химические науки	118	44	74
Исторические науки	91	32	59
Филологические науки	89	34	55
Педагогические науки	76	24	52
Юридические науки	67	7	60
Философские науки	47	16	31
Социологические науки	37	12	25
Ветеринарные науки	28	11	17
Географические науки	27	8	19
Психологические науки	26	5	21
Искусствоведение	22	2	20
Геолого-минералогические науки	20	6	14
Военные науки	13	3	10
Политические науки	11	1	10
Культурология	9	2	7
Фармацевтика	6	1	5
Архитектура	3	1	2
ВСЕГО	2612	863	1749

Пул задействованных экспертов постоянно претерпевает изменения: по ряду причин эксперты выбывают из базы экспертов (личные обстоятельства) либо удаляются администрацией ИАС «Единая экспертиза» как не выполняющие условия, прописанные в заключенном договоре. Для увеличения пула экспертов в декабре 2025 г. в ведущие научные организации страны были разосланы письма об актуализации базы экспертов в ИАС «Единая экспертиза», поскольку в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 1 апреля 2025 г. № 135 «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2026–2030 гг.» [4] выделены *сквозные* приоритетные направления научной, научно-технической и инновационной деятельности, предназначенные для первоочередной реализации, под которыми понимаются направления данной деятельности с результатами, оказывающими существенное влияние на развитие нескольких отраслей экономики (видов экономической деятельности). В некоторых случаях стало труднее оценить соответствие объекта экспертизы специализации определенного ГЭС (что повлекло за собой увеличение количества перенаправленных проектов заданий на другие экспертные советы по причине несоответствия профилю ГЭС, на который объект экспертизы был направлен изначально), а также усложнилась и задача выбора экспертов, обладающих знаниями в нескольких отраслях науки. Это обстоятельство и повлекло за собой необходимость расширения пула экспертов. Во избежание ситуации частого перенаправления объектов экспертизы в другие ГЭСы было предложено при выборе ГЭС ориентироваться на конечную научно-техническую продукцию, которая будет получена после выполнения научно-исследовательской работы.

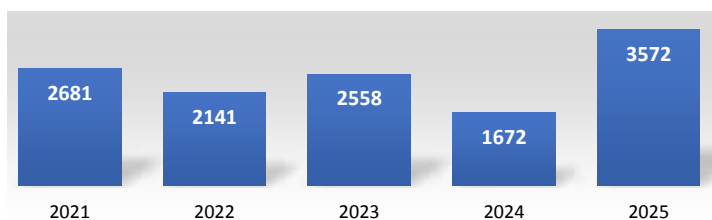


Рис 1. Количество заключенных договоров с экспертами за 2021–2025 гг.

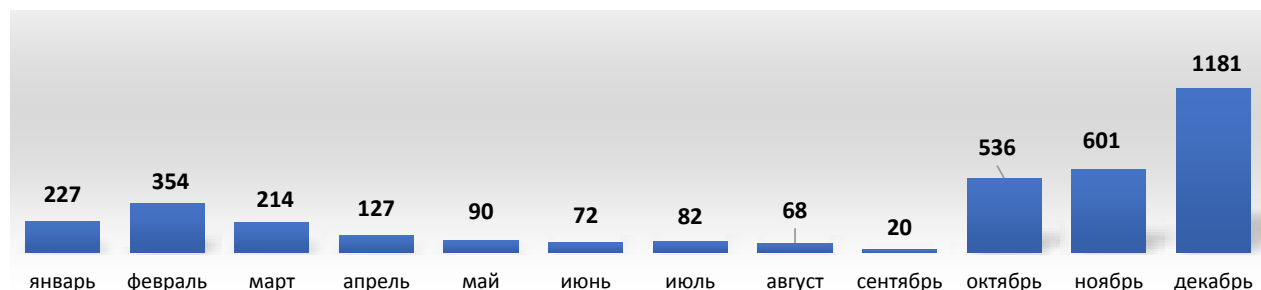


Рис. 2. Количество заключенных договоров с экспертами в 2025 г.

Поощрение экспертов и механизм оплаты труда. Для повышения престижа экспертной деятельности Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь (ГКНТ) ежегодно, начиная с 2023 г., проводит конкурс на соискание звания лучшего эксперта года.

Согласно постановлению ГКНТ от 24 января 2023 г. № 2 «О конкурсе на звание “Лучший эксперт года”» [5] данное звание присуждается трем действующим экспертам системы государственной экспертизы за достоверную оценку и объективный анализ объектов государственной экспертизы, подготовку и оформление в отношении этих объектов экспертных заключений, необходимых для принятия соответствующих решений, связанных с научной, научно-технической и инновационной деятельностью.

Следует отметить, что ранее конкурс проводился ежегодно до 20 февраля по итогам предыдущего года. Согласно изменениям, утвержденным приказом ГКНТ, дата проведения конкурса на соискание звания лучшего эксперта года установлена в первом квартале года, следующего за отчетным периодом.

Для участия в конкурсе отбираются соискатели, которые подготовили не менее пяти экспертных заключений за календарный год, результативность работы каждого эксперта определяется по следующим критериям:

- количество экспертных заключений;
- коэффициент трудоемкости объекта государственной экспертизы;
- коэффициент совпадения экспертного заключения с заключением государственного экспертного совета;
- коэффициент полноты сведений экспертного заключения;
- коэффициент оперативности подготовки экспертного заключения;
- коэффициент наличия у эксперта ученой степени.

Для выбора лучшего эксперта 2025 г. проведена оценка деятельности 967 экспертов, завершивших подготовку 3235 экспертных заключений. Из указанного числа экспертов на соискание звания лучшего был выдвинут 221 претендент. Информация о шести претендентах, набравших наибольшее количество баллов, вынесена на рассмотрение конкурсной комиссии. Так, в 2026 г. звания лучших экспертов года по результатам работы за 2025 г. удостоены два представителя Министерства образования и один — Национальной академии наук Беларуси.

Конкурс «Лучший эксперт года», по нашему мнению, способствует:

- повышению качества и оперативности проведения государственной научной и государственной научно-технической экспертиз;
- профессиональному росту экспертов, так как стимулирует участников совершенствовать свои знания, навыки и способствует развитию профессионализма в области экспертизы;
- повышению мотивации и укреплению связей между специалистами, формированию единого профессионального пространства;
- привлечению внимания к важности экспертной деятельности, так как конкурс помогает подчеркнуть значимость экспертизы и повысить ее престиж.

Следует отметить, что эксперты привлекаются к проведению экспертизы на возмездной основе. Порядок выплаты вознаграждения за проделанную работу осуществляется в соответствии с постановлением ГКНТ от 28 декабря 2018 г. № 34 «О порядке выплаты и размере вознаграждения экспертам и членам государственных экспертных советов» [6] и зависит:

- от времени, фактически затраченного экспертом на рассмотрение объекта экспертизы;
- сложности и объема представленных документов и материалов;
- квалификации эксперта.

Второй и третий факторы являются объективными: их значение однозначно определяется такими детерминантами, как код объекта экспертизы (в соответствии с пунктом 8 Положения о порядке функционирования единой системы государственной научной и государственной научно-технической экспертиз, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 22 мая 2015 г. № 431) (Положение № 431) и ученой степенью эксперта. В то же время количество часов, затраченных экспертом на подготовку заключения, определяется им самостоятельно.

Авторы провели анализ о фактических затратах времени на подготовку экспертных заключений в разрезе кодов объектов экспертизы и ученых степеней экспертов (по договорам, заключенным с экспертами в 2024 г.). На рис. 3 представлено распределение всех экспертных заключений по времени их написания, то есть показано, какое время чаще всего эксперты указывают в актах выполненных работ, и проанализирована работа 1625 экспертов, подготовивших экспертные заключения по проектам заданий в 2024 г. по всем ГЭСам.

Как видно из приведенных данных, основная часть заключений (1558, или 95,9 %) подготовлена за период от 6 до 10 ч.

В части сложности и объема представленных материалов просматривается вполне определенная зависимость средней продолжительности экспертизы от сложности объекта экспертизы (рис. 4):

- для сложных объектов экспертизы с кодом 8.6 (результаты научно-технической деятельности, условно группа IV) наибольшее время — 9,4 ч;
- объектов экспертизы с кодами 8.7–8.9, 8.12 (ИП) (бизнес-планы и инновационные проекты — на рисунке условно группа III — код 8.9) — 9,3 ч;
- объектов экспертизы с кодами 8.3–8.5, 8.11, 8.12 (ОКР и ОТР), 8.13 и 8.14 (научно-технические проекты и др. — условно группа II — код 8.3) — затраты времени несколько меньше — 8,7 ч;
- объектов экспертизы с кодами 8.1, 8.2, 8.10, 8.12 (НИР), 8.15 и 8.16 (проекты научных исследований и др. — условно группа I — код 8.1) — еще меньше — 7,9 ч.

Влияние квалификации эксперта на время написания им заключения представлено на рис. 5.

Как следует из рис. 5, специалисты, имеющие более высокую квалификацию (доктора и кандидаты наук), справляются с поставленной задачей быстрее. Так, доктор наук пишет заключение в среднем за 8,3 ч, кандидат наук — за 8,2 ч, специалист без ученой степени — за 9,5 ч.

Ошибки экспертов и меры по их предотвращению. Несмотря на работу, проводимую национальным оператором с экспертным сообществом, при формировании экспертных заключений возникают некоторые ошибки, причинами которых могут быть:

- недостаточный опыт эксперта в проведении государственной экспертизы;
- отсутствие в открытом доступе информации к предъявляемым требованиям по оформлению документов;
- спешка и/или нехватка времени для качественного проведения экспертизы проекта задания;
- ограниченность информации, представленной заказчиком (исполнителем) объекта государственной экспертизы;
- предвзятость или субъективность эксперта;
- невнимательность эксперта при заполнении формы экспертного заключения в ИАС «Единая экспертиза»;
- недостаточное владение нормативной правовой базой.

Некоторые ошибки, допускаемые экспертами при работе с комплектом документов, направленным на экспертизу, могут негативно сказываться на дальнейших этапах прохождения государственной экспертизы и давать искаженные результаты при обсуждении проекта мероприятия на заседаниях секции и бюро ГЭСов. Авторы проанализировали экспертные заключения, что позволило выявить некоторые наиболее часто встречающиеся ошибки, возникающие у экспертов при рассмотрении объекта государственной экспертизы, оценить их последствия и определить способы минимизации:

1. Ошибки технического характера. Являются самыми распространенными, возникают из-за недостаточной компетенции эксперта по тематике



Рис. 3. Количество экспертных заключений по времени написания

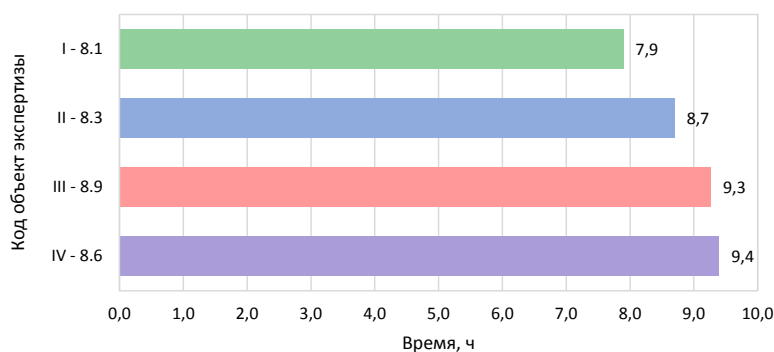


Рис. 4. Среднее время подготовки экспертных заключений в разрезе объектов экспертизы, указанных в пункте 8 Положения № 431

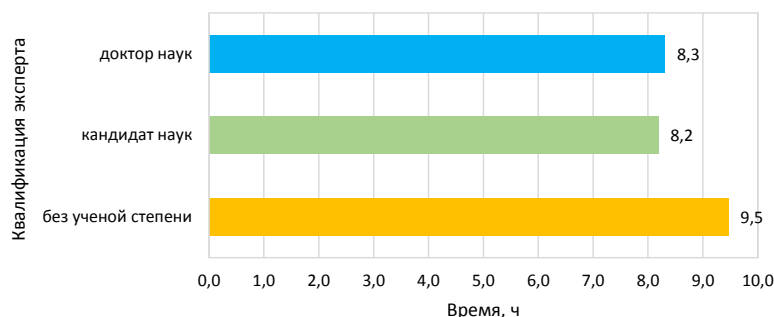


Рис. 5. Среднее время подготовки экспертных заключений в разрезе квалификации экспертов

представленного объекта экспертизы и/или опыта эксперта. Иногда при предоставлении недостоверных сведений о себе (специализация, область компетенции) эксперт ошибочно выбран по предлагаемой тематике, специалистом в которой он, по сути, не является. В данной ситуации эксперту следует обязательно предоставлять актуальную информацию о себе (место работы, должность, специализация, область компетенции). В случае изменения ученой степени, звания, места работы, должности и т. д. он должен либо самостоятельно актуализировать информацию о себе в своем личном кабинете, либо предоставить ее национальному оператору. Последствием ошибок такого плана могут быть неверные выводы и/или принятие неверных решений при проведении экспертизы, так как эксперт может неверно интерпретировать критерии оценки объекта экспертизы, установленные приказом ГКНТ «О единой системе государственной научной и государственной научно-технической экспертиз» от 22 мая 2020 г. № 153 (приказ № 153) [7].

2. Субъективные ошибки при работе над экспертным заключением. Выражаются в какой-либо заинтересованности, предвзятости, влиянии личных взглядов или предпочтений, убеждений, эмоций. Эксперт может преувеличить или, наоборот, преуменьшить значимость проекта задания, исходя из личных убеждений, а не объективных критериев. В результате формируется предвзятое мнение по представленной тематике и/или области научного исследования, и исполнитель проекта получает необъективное заключение, содержащее односторонние (предвзятые) выводы, обоснованные только субъективным мнением эксперта. Уменьшить влияние субъективных ошибок возможно следующими способами: разработать ясные критерии оценки объекта экспертизы; сформировать четкие шаблоны экспертного заключения; привлечь нескольких независимых экспертов, являющихся работниками разных организаций и/или разных ведомственных подчинений; провести консультации (семинары, рабочие встречи) с экспертным сообществом; соблюдать постоянный контроль экспертных заключений национальным оператором.

3. Нарушение либо незнание требований законодательства при проведении экспертизы, правил защиты конфиденциальной информации, сроков проведения экспертизы, не уведомление о наличии заинтересованности, передача данных третьим лицам являются причинами ошибок эксперта, которые можно отнести условно к категории юридических ошибок. Последствием подобного рода ошибок может быть недействительность экспертизы, оспаривание результатов, потеря доверия, а также репутационные риски для эксперта. Конфиденциальность информации об эксперте закреплена нормативными документами, а именно Положением № 431, Соглашением о конфиденциальности, приказом ГКНТ № 153. При давлении на эксперта с любой стороны (руководящего состава ГЭСа, куратора ГЭСа, исполнителей и заказчиков) эксперт может обратиться к национальному оператору, в ГКНТ, а также в Следственный комитет с устным или письменным заявлением об оказываемом на него давлении.

В конце 2025 г. при поступлении в ГЭСы большого количества заданий ГПНИ и мероприятий ГП увеличилось число отказов экспертов. Так, по ряду проектов отказы экспертов в проведении экспертизы были достаточно многочисленными (есть случаи отказа 3–5 экспертов по одному объекту экспертизы). Причинами отказов чаще всего являлись личные обстоятельства, а также несоответствие компетенции эксперта предлагаемому проекту мероприятия. Эксперты также отказывались от проведения экспертизы проектов заданий, которые впоследствии либо отправлялись на доработку по замечаниям секции (бюро), либо были рассмотрены с выдачей отрицательного заключения ГЭСа. Частый отказ экспертов затягивает срок проведения экспертизы, а также негативно отражается на качестве экспертного заключения, так как назначение эксперта, его утверждение в ГКНТ, принятие решения экспертом о проведении экспертизы и само время работы над экспертным заключением является иногда критическим для установленных сроков проведения всего этапа государственной экспертизы.

Следует также отметить, что в ИАС «Единая экспертиза» предусмотрен ряд опций, позволяющих минимизировать в некоторых случаях ошибки, допускаемые экспертами при формировании экспертного заключения. Например, предусмотрен возврат экспертного заключения на доработку при допущении орфографических ошибок, при недостаточном обосновании критериев оценки объекта экспертизы, а также по просьбе эксперта в случае необходимости дополнить заключение некоторыми вновь открывшимися фактами. Копирование экспертом текста из проекта задания в экспертное заключение также является поводом для возврата заключения на доработку, так как обоснования критериев оценки должны содержать точку зрения эксперта (согласно его компетенции) и количественно содержать не менее 30 знаков, в ином случае создать и сохранить в ИАС «Единая экспертиза» экспертное заключение не представится возможным. Еще одной опцией ИАС «Единая экспертиза» является невозможность оценить объект экспертизы как целесообразный для реализации и финансирования в случае, если он обозначен экспертом как не новый для Республики Беларусь и/или имеет низкую экономическую значимость.

Заключение. Для обеспечения единых стандартов и подходов, юридической и этической безопасности, повышения эффективности и результативности проведения государственной экспертизы, а также для бесперебойной работы ИАС «Единая экспертиза» национальный оператор разработал и утвердил приказом директора

ГУ «БелИСА» от 27 февраля 2026 г. № 16 Методические рекомендации по заполнению форм экспертных заключений и заключений ГЭСов в соответствии с приказом ГКНТ от 22 мая 2020 г. № 153, которые дают пояснения экспертам и руководству ГЭСа о процедуре выбора экспертов, а именно: о требованиях, предъявляемых к экспертам; порядке назначения экспертов; порядке работы эксперта с материалами объекта экспертизы. Методические рекомендации включают в себя памятку эксперту о порядке составления экспертного заключения, основные рекомендации по анализу и оценке объекта государственной экспертизы при составлении экспертного заключения и заключения ГЭСа.

Разработанные Методические рекомендации оптимизируют работу единой системы научной и научно-технической экспертиз; обеспечат единый порядок оформления заключений экспертов и заключений ГЭСов; повысят качество и объективность оценки объектов экспертизы путем минимизации ошибок и недостатков в заключениях; сделают процесс государственной экспертизы более понятным и удобным; обеспечат контроль качества и прозрачность системы государственной экспертизы.

Список цитируемых источников:

1. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 9 октября 2025 г. № 555 «О Перечне государственных программ научных исследований на 2026–2030 годы» // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. — URL: <https://pravo.by/document/?guid> (дата обращения: 06.04.2026).
2. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 31 октября 2025 г. № 602 «Об утверждении перечня государственных программ на 2026–2030 годы» // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. — URL: <https://pravo.by/document> (дата обращения: 06.04.2026).
3. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 10 декабря 2025 г. № 717 «О перечнях государственных и региональных научно-технических программ на 2026–2030 годы» // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. — URL: <https://pravo.by/document> (дата обращения: 07.04.2026).
4. Указ Президента Республики Беларусь от 1 апреля 2025 г. № 135 «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2026–2030 гг.» // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. — URL: <https://president.gov.by/ru/documents/ukaz-no-135-ot-1-aprela-2025-g> (дата обращения: 07.04.2026).
5. Постановление Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь от 24 января 2023 г. № 2 «О конкурсе на звание «Лучший эксперт года» // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. — URL: <https://etalonline.by/document/?regnum=W22339725> (дата обращения: 06.04.2026).
6. Постановление Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь от 28 декабря 2018 г. № 34 «О порядке выплаты и размере вознаграждения экспертам и членам государственных экспертных советов» // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. — URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21933761> (дата обращения 10.04.2026).
7. Приказ ГКНТ от 22 мая 2020 г. № 153 «О единой системе государственной научной и государственной научно-технической экспертиз» // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. — URL: <https://www.gknt.gov.by/upload> (дата обращения: 07.04.2026).

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

В журнале «Новости науки и технологий» публикуются научные и проблемные статьи, а также краткие сообщения по вопросам экономики и управления народным хозяйством, развития науки и технологий в Республике Беларусь и других странах, посвященные пропаганде перспективных направлений науки и техники, производства, инновационной деятельности, международного сотрудничества.

В соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 5 января 2023 г. № 2 журнал входит в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по экономическим и техническим (машиностроение и машиноведение; приборостроение, метрология и информационно-измерительные системы) наукам.

Журнал включен в наукометрическую базу данных — Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Электронные версии статей, опубликованных в журнале, размещаются в Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU.

Редакция журнала приглашает ученых и специалистов в качестве авторов статей журнала и просит при представлении материалов руководствоваться следующими правилами.

1. Рукопись статьи (далее — статья, произведение) на русском, или белорусском, или английском языках представляется в редакцию на бумажном носителе (формат А4) в двух экземплярах, пронумерованных и подписанных всеми авторами.

2. К статье о результатах работ, выполненных в организации, прилагают: ходатайство (сопроводительное письмо) организации об опубликовании статьи; заключение (акт экспертизы) об отсутствии в работе сведений, составляющих государственную тайну; рецензию (для научных статей). Нельзя направлять в редакцию работы, напечатанные в иных изданиях либо направленные в иные издания.

3. Электронный вариант статьи в форматах документов *.doc, *.docx и **материальные произведения** представляются на электронном носителе (CD, DVD) либо электронным письмом с приложением на электронный почтовый ящик kizeyeva@belisa.org.by или sudilovskaya@belisa.org.by. Названия прикрепленных к письму файлов должны включать фамилии авторов.

4. В редакцию на бумажном носителе представляются **лицензионный договор и акт приема-передачи произведения**, оформленные и подписанные каждым автором. Авторы, ранее заключившие договор с журналом, предоставляют только акт приема-передачи произведения.

5. Основной текст статьи набирается шрифтом типа Times, размер символов 12 п., одинарный интервал, абзацный отступ 1 см, поля: левое — 3, правое — 1, верхнее — 2, нижнее — 2 см, в текстовых редакторах Word под Windows, для формул — в формульном редакторе Word.

6. Рукописи статей должны включать следующие элементы:
– **индекс УДК** (<http://udc.biblio.uspu.ru>);
– **название статьи на русском и английском языках**;
– **сведения об авторах** (для каждого из авторов) **на русском и английском языках**: фамилия, имя, отчество; должность, ученая степень, ученое звание; название организации, в которой работает (учится), город, страна;
– аннотацию (резюме) (до 100–150 слов, или 600–800 печатных знаков) к статье **на русском и английском языках**;

– ключевые слова или словосочетания (до 15) **на русском и английском языках** (ключевые слова или словосочетания отделяются друг от друга запятой);
– полный текст статьи;
– библиографический список литературы (только на языке оригинала).

7. Объем статьи не должен превышать 10–15 страниц (включая таблицы, иллюстрации и список литературы). Принимаются краткие сообщения до трех страниц. Объем научной статьи, учитываемой в качестве публикации по теме диссертации, должен составлять не менее 0,35 авторского листа (14 000 печатных знаков с пробелами).

8. Весь иллюстративный материал (кроме диаграмм MS Excel, MS Graph) предоставляется в наилучшем качестве в виде отдельных файлов с разрешением не менее 300 dpi, содержащих номер рисунка с расширением, указывающим на формат используемого файла (*1.TIF, *2.JPEG и т. д.), а также (или) в форме отпечатанных фотографий. Каждый рисунок должен иметь название, которое помещается под рисунком. Если в тексте более одного рисунка, то они нумеруются арабскими цифрами (например: «Рис. 1. Название...»). Номер помещается перед названием. Таблицы вставляются в текст, они должны обязательно иметь название и заголовки всех граф.

9. Основным шрифтом набираются: греческие и русские буквы; математические символы (sin, lg); символы химических элементов (C, Cl, CHCl₃); цифры (римские и арабские); векторы, индексы (верхние и нижние), являющиеся сокращениями слов. Курсивом набираются латинские буквы: переменные, символы физических величин (в том числе и в индексе). Жирным шрифтом набираются векторы (стрелки сверху не ставятся), а также слова и цифры, которые нужно выделить. Формулы с дробями, знаками сумм, интегралов, верхними и нижними индексами набираются в редакторе формул MathType. Отдельно стоящие в тексте буквы (a, b, d, j, l, m, r и др.), знаки и символы (€, ±, ', ^, %, °, I и др.) набираются без использования редактора формул: они вставляются из меню Вставка/Символ. Если длина формулы превышает длину строки, то следует разорвать данную формулу на несколько строк в соответствии с правилами переноса математических формул.

10. Размерности всех величин, используемых в тексте, должны соответствовать Международной системе единиц измерения (СИ).

11. Литература приводится общим списком в конце статьи. Ссылки на литературу в тексте идут по порядку и обозначаются цифрой в квадратных скобках (например: [1], [2]). Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003. Литература на английском языке набирается по тем же правилам, что и русскоязычная. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

12. Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, нумеруются в соответствии с порядком цитирования в тексте.

13. Представляя текст статьи для публикации в журнале, авторы гарантируют правильность всех сведений о себе, отсутствие плагиата и других форм неправомерного заимствования в представленной рукописи статьи, надлежащее оформление всех заимствований текста, таблиц, схем, иллюстраций.

14. Материалы и рукописи статей, представленные в редакцию с нарушением требований настоящих Правил, редакцией не рецензируются и не рассматриваются на предмет опубликования. Рукописи автору не возвращаются.

15. Оригиналы авторских рукописей хранятся в редакции в течение года, рецензий — в течение трех лет.

16. Рецензирование научных материалов осуществляется путем стороннего и внутреннего рецензирования.

При стороннем рецензировании авторы прилагают к рукописи статьи рецензию доктора или кандидата наук, заверенную в установленном порядке.

Внутреннее рецензирование осуществляется членами редакционной коллегии соответствующего научного профиля с ученой степенью доктора или кандидата наук, назначаемыми главным редактором.

Основным критерием целесообразности публикации является новизна и информативность статьи. При наличии замечаний со стороны внутреннего рецензента статья возвращается автору на доработку. Исправленная статья повторно направляется на рецензирование. Датой поступления статьи считается день получения редакцией окончательного варианта статьи.

В случае отказа в опубликовании представленных материалов редакция не дает письменного заключения о причинах такого решения, не знакомит автора с результатами рецензирования и не возвращает поступившие материалы.

17. Редакция оставляет за собой право на редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

Раздел подготовлен по материалам издательства научной и медицинской литературы Elsevier, а также материалов Международного Комитета по публикационной этике (COPE)

18. Этика научных публикаций.

18.1. Все статьи, предоставленные для публикации в журнале «Новости науки и технологий», проходят рецензирование на оригинальность, этичность и значимость. Соблюдение стандартов этического поведения важно для всех сторон, принимающих участие в публикации: авторов, редакторов журнала, рецензентов, издателя.

18.2. Автор материала, представленного к опубликованию, не должен публиковать работы, которые описывают по сути одно и то же исследование, более чем один раз или более чем в одном журнале.

Предоставление рукописи более чем в один журнал одновременно означает неэтичное издательское поведение и является недопустимым.

18.3. Авторство необходимо ограничить теми лицами, которые внесли ощутимый вклад в концепцию, проект, исполнение или интерпретацию заявленной работы. Всех, кто внес ощутимый вклад, следует внести в список соавторов.

18.4. Автор должен гарантировать, что список авторов содержит только действительных авторов и в него не внесены те, кто не имеет отношения к данной работе, а также то, что все соавторы ознакомились и одобрили окончательную версию статьи и дали свое согласие на ее публикацию.

18.5. Редакция рецензируемого журнала «Новости науки и технологий» является ответственной за принятие решения о том, какие статьи будут опубликованы в журнале. Решение принимается на основании представляемых на статью рецензий. Редактор может советоваться с другими редакторами для принятия решений.

18.6. Редакционная коллегия журнала «Новости науки и технологий» при рассмотрении статьи на основании рекомендации Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь может произвести проверку материала с помощью системы «Антиплагиат».

18.7. Неопубликованные материалы, находящиеся в предоставленной статье, не должны быть использованы в собственном исследовании научного редактора и рецензентов без специального письменного разрешения автора.

18.8. Рецензенты должны идентифицировать опубликованную работу, которая не была процитирована автором. Любое утверждение, что наблюдение, происхождение либо аргумент ранее были сообщены, необходимо сопровождать соответствующей ссылкой. Рецензент также должен донести до сведения редакции о любой существенной схожести или частичном совпадении между рукописью, которая рецензируется, и другой уже опубликованной работой, которая ему знакома.

18.9. Приватная информация или идеи, возникшие в процессе рецензирования, должны оставаться конфиденциальными и не могут быть использованы в личных интересах. Рецензент не должен рассматривать рукопись, если имеет место конфликт интересов в результате его конкурентных, партнерских либо других отношений или связей с кем-либо из авторов, компаний или организаций, связанных с материалом публикаций.

18.10. Рецензенты или кто-либо из сотрудников штата редакции не должны разглашать никакую информацию о предоставленной рукописи кому-либо, кроме самого автора, рецензентов, потенциальных рецензентов, других редакционных советников и издателя, поскольку она является конфиденциальной.

Материалы в редакцию следует направлять по адресу:

пр. Победителей, 7, 220004, г. Минск
ГУ «БелИСА»

(журнал «Новости науки и технологий»)

Тел.: (+375 17) 203-41-23, 306-09-46

ISSN 2075-7204



9 772075 720008