

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ – РЕСПУБЛИКАНСКИЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ НАУЧНО-КОНСУЛЬТАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ЭКСПЕРТИЗЫ»
(ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ)**

ИННОВАТИКА И ЭКСПЕРТИЗА

Выпуск 1 (39)

МОСКВА 2025

Editor-in-chief

A.P. Antropov, Acting Director General of SRI FRCEC, Doctor of Engineering

Deputy Chief Editor

P.B. Melnik, Deputy Director General of SRI FRCEC for R&D, Doctor of Engineering

Members of Board

N.A. Lukasheva, Scientific Secretary, Doctor of Economics;

N.A. Mironov, Director of Centre, Doctor of Engineering;

Yu.P. Rybakov, Director of Centre, Doctor of Engineering, Ph.D.;

T.I. Turko, Director of Centre, Doctor of Biology;

A.B. Logunov, Director of Centre, Doctor of Military Sciences;

R.R. Ilyushchenko, Director of Centre;

A.M. Tishin, Professor of Lomonosov Moscow State University, Ph.D.

Members of Technical Edition

A.A. Tugarinov, Executive Technical Editor for the collection;

G.G. Rodionova, Responsible for work with reviewers;

V.V. Tsukanova, Technical Editor;

A.V. Sokolova, Corrector

Responsible compiler of the collection materials Doctor of Physics and Mathematics I.I. Kurochka

Extended information about members of the Editorial Board is presented at the website: www.inno-exp.ru.

Главный редактор

А.П. Антропов, и. о. генерального директора ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук

Зам. гл. редактора

П.Б. Мельник, зам. ген. директора ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ по научной работе, канд. техн. наук

Члены редколлегии

Н.А. Лукашева, ученый секретарь, канд. экон. наук;

Н.А. Миронов, директор центра, канд. техн. наук;

Ю.Л. Рыбаков, директор центра, канд. техн. наук, д-р биол. наук;

Т.И. Турко, директор центра, канд. биол. наук;

А.Б. Логунов, директор центра, канд. воен. наук;

Р.Р. Илющенко, директор центра;

А.М. Тишин, проф. физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д-р физ.-мат. наук

Члены технической редакции

А.А. Тугаринов, отв. техн. редактор;

Г.Г. Родионова, отв. за работу с рецензентами;

В.В. Цуканова, техн. редактор;

А.В. Соколова, корректор

Ответственный составитель материалов сборника канд. физ.-мат. наук И.И. Курочка

Расширенная информация о членах редколлегии представлена на сайте: www.inno-exp.ru.

Innovatics and Expert Examination. The scientific works of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Scientific Research Institute – Federal Research Centre for Projects Evaluation and Consulting Services» (SRI FRCEC). Moscow. SRI FRCEC, 2025. Vol. 1(39). 258 p.

The collection was prepared and published with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of the State Assignment for 2025 No. 075-00682-25-02.

The collection publishes c works of employees of the FSBI SRI FRCEC, experts of the Federal Roster of Experts in scientific and technological fields, as well as representatives of other scientific, educational and industrial organizations on topical issues for Russia in the field of innovation, scientific, scientific & technological and special expert examination, organization of scientific and economic activity, engineering and technology as well as national security.

In this issue, the authors have presented the results of studies related to the legal regulation of expert activities, the methodology for monitoring scientific achievements, staffing the economy in the context of the transition to innovative development, problems of the development of environmental entrepreneurship, issues of organizing networking in the field of science, etc.

Published materials may be of interest to managers of various ranks, researchers and teachers, applicants for scientific degrees and university students.

ISSN 1996-2274

© SRI FRCEC, 2025

EAN-13: 9771996227771

This collection was registered on 12 April 2007 in ROSOHRANKULTURA Agency PI № FS77-27730.

Editorial Address: 127055, Moscow, Obraztsova St., 12, Bldg. 2

Tel.: (495) 580-52-60

E-mail: info@extech.ru

http://www.extech.ru

Инноватика и экспертиза. Научные труды Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт – Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы» (ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ). М.: ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, 2025. Вып. 1 (39). 258 с.

Сборник подготовлен и издан при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания на 2025 г. № 075-00682-25-02.

В сборнике публикуются научные труды сотрудников ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, экспертов Федерального реестра экспертов научно-технической сферы, а также представителей других научных, образовательных и производственных организаций по актуальным для России проблемам в области инноватики, научной, научно-технической и специальной экспертизы, организации научной и хозяйственной деятельности, техники и технологий, национальной безопасности.

В данном выпуске авторы представили результаты исследований, связанных с правовым регулированием экспертной деятельности, методологией мониторинга научных достижений, кадровым обеспечением экономики в условиях перехода к инновационному развитию, проблемами развития экологического предпринимательства, вопросами организации сетевого взаимодействия в сфере науки и др.

Публикуемые материалы могут представлять интерес для руководящих работников различного ранга, научных работников и преподавателей, соискателей научных степеней и студентов вузов.

ISSN 1996-2274

© ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, 2025

EAN-13: 9771996227771

Сборник зарегистрирован 12 апреля 2007 г. в Росохранкультуре, ПИ № ФС77-27730.

Адрес редакции: 127055, г. Москва, ул. Образцова, д. 12, корп. 2.

Тел.: (495) 580-52-60

E-mail: info@extech.ru

http://www.extech.ru

CONTENTS

INNOVATION: THEORY AND PRACTICE

T.I. Turko, V.F. Fedorkov, N.N. Odintsova, G.G. Rodionova, O.V. Fakhurdinov, A.A. Timokhin. Organizational and technical support of state registration of small innovative enterprises at universities and scientific organization	10
T.I. Turko, V.F. Fedorkov, N.N. Odintsova, G.G. Rodionova, A.A. Timohin. Provision and analysis of economic activity of small innovative enterprises established in the scientific and educational sector of Russia	19

EXPERT EXAMINATION AND ANALYTICAL ACTIVITY

M.P. Zasko, R.R. Ilyushchenko, N.A. Mironov, M.V. Sergeev, I.M. Sergeev. On monitoring the demand for results of major scientific projects in priority areas of scientific and technological development	33
S.P. Yurkevichyus, D.A. Vrazhnov. The potential of using artificial intelligence methods for the examination of scientific projects	41
M.V. Sergeev, I.M. Sergeev. The use of artificial intelligence language models for scientific and technical expertise: current capabilities and prospects	49
V.V. Davidov, I.G. Kadiev. Some aspects in evaluating the results of intellectual activity during the competitive works examination of scientists, engineers and postgraduates	62
A.A. Solovyanov. Ash-and-slag: a valuable resource for the economy	70

ECONOMY AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC ACTIVITIES

B.A. Sivak, A.V. Protasov. Metallurgmash: opportunities for import substitution	110
P.A. Kruglikov. Transformation and variety of possible ways of energy development	132
S.A. Babanov, M.U. Vostroknutova, I.N. Vasina, A.G. Baykova, A.S. Babanov, M.S. Artemieva. Features of immunopathogenesis in occupational chronic obstructive pulmonary disease and its combination with arterial hypertension	143

СОДЕРЖАНИЕ

ИННОВАЦИИ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Т.И. Турко, В.Ф. Федорков, Н.Н. Одинцова, Г.Г. Родионова, О.В. Фахурдинов, А.А. Тимохин. Организационно-техническое сопровождение мероприятий по государственному учету малых инновационных предприятий при вузах и научных организациях	10
Т.И. Турко, В.Ф. Федорков, Н.Н. Одинцова, Г.Г. Родионова, А.А. Тимохин. Обеспечение и анализ экономической деятельности малых инновационных предприятий, созданных в научно-образовательной сфере России	19

ЭКСПЕРТИЗА И АНАЛИТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

М.П. Засько, Р.Р. Илющенко, Н.А. Миронов, М.В. Сергеев, И.М. Сергеев. О мониторинге востребованности результатов крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития	33
С.П. Юркевичус, Д.А. Вражнов. Потенциал применения методов искусственного интеллекта для экспертизы научных проектов	41
М.В. Сергеев, И.М. Сергеев. Использование языковых моделей искусственного интеллекта для решения задач научно-технической экспертизы: актуальные возможности и перспективы ...	49
В.В. Давыдов, И.Г. Кадиев. Некоторые аспекты в оценке результатов интеллектуальной деятельности при экспертизе конкурсных работ ученых, инженеров и аспирантов	62
А.А. Соловьянов. Золошлаки: ценный ресурс для экономики	70

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Б.А. Сивак, А.В. Протасов. Metallургмаш: возможности по импортозамещению	110
П.А. Кругликов. Трансформация и разнообразие возможных путей развития энергетики	132
С.А. Бабанов, М.Ю. ВострокнUTOва, И.Н. Васина, А.Г. Байкова, А.С. Бабанов, М.С. Артемьева. Особенности иммунопатогенеза при профессиональной хронической обструктивной болезни легких и ее сочетании с артериальной гипертензией	143

ENGINEERING AND TECHNOLOGY

S.G. Lebedev. Radiochemical neutron monitor for high flux nuclear facilities	157
N.V. Lemeshko, V.N. Zakharov. Development of a descriptive model for the occurrence of conductive interference in collector electric motors based on the results of measurements in the frequency domain	165
V.N. Bashkin. Innovative biogeochemical technologies: reclamation and remediation of impact ecosystems	181
A.A. Belov. Problems of creating biologically active medical dressings materials	193
M.Yu. Vostroknutova. Investigation of unprovoked respiratory volumes and flows in occupational chronic obstructive pulmonary disease and its combination with arterial hypertension	211

NATIONAL SECURITY

D.B. Izyumov, E.L. Kondratyuk. On the progress of advanced research and development of military, civilian and dual-use artificial intelligence technologies abroad	216
D.B. Izyumov, E.L. Kondratyuk, V.I. Karpenko. The main directions of the development of means and development of air-based electronic warfare systems in the USA	227
V.I. Karpenko. The South Pole and Russia in the paradigm of the new World Order	240

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

С.Г. Лебедев. Радиохимический монитор нейтронов для высокопоточных ядерных установок	157
Н.В. Лемешко, В.Н. Захаров. Разработка описательной модели эмиссии кондуктивных помех коллекторных электродвигателей на основе результатов измерений в частотной области	165
В.Н. Башкин. Инновационные биогеохимические технологии: рекультивация и ремедиация импактных экосистем	181
А.А. Белов. Проблемы создания биологически активных медицинских перевязочных материалов	193
М.Ю. Вострокнутова. Исследование неспровоцированных дыхательных объемов и потоков при профессиональной хронической обструктивной болезни легких и ее сочетании с артериальной гипертензией	211

НАЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Д.Б. Изюмов, Е.Л. Кондратюк. О ходе перспективных исследований и разработок технологий искусственного интеллекта военного, гражданского и двойного назначения за рубежом	216
Д.Б. Изюмов, Е.Л. Кондратюк, В.И. Карпенко. Основные направления разработки средств и развития комплексов радиоэлектронной борьбы воздушного базирования США	227
В.И. Карпенко. Южный полюс и Россия в парадигме нового миропорядка	240

ИННОВАЦИИ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ГОСУДАРСТВЕННОМУ УЧЕТУ МАЛЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ ВУЗАХ И НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

Т.И. Турко, дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. биол. наук, *ttamara16@extech.ru*

В.Ф. Федорков, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *fedorkov@extech.ru*

Н.Н. Одинцова, вед. инж. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *nno.ru@extech.ru*

Г.Г. Родионова, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. экон. наук,
rodionova@extech.ru

О.В. Фахурдинов, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *olegator@extech.ru*

А.А. Тимохин, ст. инж.-программист ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *timohinaa@extech.ru*

Рецензент: Т.А. Яркова, эксперт Федерального реестра экспертов научно-технической сферы, д-р пед. наук, *tatyanayarkova59@mail.ru*

В статье изложен анализ создания и представлены материалы по государственному учету малых инновационных предприятий, деятельность которых заключается в практическом применении (внедрении) результатов интеллектуальной деятельности, по формированию Реестра учета уведомлений о создании малых инновационных предприятий, по сопровождению интерактивной информационной системы ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ «Учет и мониторинг малых инновационных предприятий научно-образовательной сферы».

Ключевые слова: малое инновационное предприятие, хозяйственное общество, хозяйственное партнерство, результаты интеллектуальной деятельности, учет уведомлений о создании малых инновационных предприятий, Реестр учета уведомлений о создании малых инновационных предприятий, интерактивная информационная система, пользователь системы.

ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SUPPORT OF STATE REGISTRATION OF SMALL INNOVATIVE ENTERPRISES AT UNIVERSITIES AND SCIENTIFIC ORGANIZATION

T.I. Turko, Director of Centre, SRI FRCEC, Doctor of Biology, *ttamara16@extech.ru*

V.F. Fedorkov, Head of Department, SRI FRCEC, *fedorkov@extech.ru*

N.N. Odintsova, Leading Engineer, SRI FRCEC, *nno.ru@extech.ru*

G.G. Rodionova, Deputy Head of Department, SRI FRCEC, Doctor of Economics,
rodionova@extech.ru

O.V. Fakhurdinov, Deputy Head of Department, SRI FRCEC, *olegator@extech.ru*

A.A. Timokhin, Senior Software Engineer, SRI FRCEC, *timohinaa@extech.ru*

The article presents the analysis of the creation and materials on the state accounting of small innovative enterprises, whose activities consist in the practical application (implementation) of intellectual property results, on the formation of a Roster of registration of notifications on the creation of small innovative enterprises, on the support of the interactive information system of the

SRI FRCEC (Scientific Research Institute – Federal Research Centre for Projects Evaluation and Consulting Services) «Registration and Monitoring of small innovative enterprises of scientific and educational sectors».

Keywords: small innovative enterprise, business society, business partnership, results of intellectual activity, registration of notifications on the creation of small innovative enterprises, Roster of registration of notifications on the creation of small innovative enterprises, interactive information system, system user.

Малые инновационные предприятия (МИП), хозяйственные общества и хозяйственные партнерства (ХО, ХП), созданные в научно-образовательной сфере для практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности (РИД), вносят определенный вклад в инновационную экономику России.

За рубежом также делают ставку на молодые и энергичные хайтек-компании, маневренные, гибкие, лишенные чиновничьей волокиты, способные создавать футуристические разработки гораздо быстрее и дешевле, нежели старые неповоротливо-прожорливые компании-монстры.

Выполнение мероприятий по организационно-техническому сопровождению и государственному учету ХО (ХП) направлено на обеспечение функций и полномочий Минобрнауки России, установленных нормативной правовой базой, в части работы вузов и научных учреждений с созданными ими малыми инновационными предприятиями, деятельность которых заключается в практическом применении (внедрении) РИД.

Федеральными законами от 02.08.2009 № 217-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам создания бюджетными научными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ в целях практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности» [1], от 23.08.1996 № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» [2] и от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» [3] на Минобрнауки России возложено ведение учета уведомлений о создании малых инновационных предприятий в научно-образовательной сфере.

Федеральным законом от 24.07.2007 № 209-ФЗ «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации» [4] на Минобрнауки России возложено также предоставление сведений в Единый (годовой, электронный) реестр субъектов малого и среднего предпринимательства по состоянию на 1 июля текущего календарного года о создании ХО (ХП) в формате, определенном Федеральной налоговой службой.

Минобрнауки России в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 04.03.2011 № 146 «О ведении Реестра учета уведомлений о создании хозяйственных обществ и хозяйственных партнерств, созданных бюджетными научными и автономными научными учреждениями либо образовательными организациями высшего образования, являющимися бюджетными или автономными учреждениями» [5] (далее – постановление № 146) ведет Реестр учета уведомлений о создании ХО (ХП), который предоставляет ежеквартально в органы контроля за уплатой страховых взносов.

Приказами Минобрнауки России от 24.01.2014 № 43 [6] и от 14.02.2014 № 117 [7] на ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ возложены ведение учета уведомлений о создании ХО (ХП), размещение сведений об их создании в сети Интернет и ежеквартальное формирование Реестра учета уведомлений о создании ХО (ХП) для дальнейшего предоставления в налоговые органы.

В соответствии с госзаданием на 2025 г. и указанными приказами Минобрнауки России ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ ведет в режиме реального времени учет уведомлений о созданных и действующих на настоящий момент ХО (ХП) с использованием интерактивной информа-

ционной системы «Учет и мониторинг малых инновационных предприятий научно-образовательной сферы», размещенной на сайте [Электронный ресурс. Режим доступа: <https://mir.extech.ru> (дата обращения: 03.04.2025)].

Администратор системы ведет проверку сведений о вновь созданных ХО (ХП), переданных на рассмотрение авторизованным пользователем системы от учредителя, которые поступают первоначально во временную базу учета. Данные проверяются на корректность, и в случае присвоения статуса «Соответствует 217-ФЗ» эти сведения попадают в основную базу данных учета уведомлений о создании ХО (ХП).

База данных учета уведомлений о создании ХО (ХП) в согласованном с Минобрнауки России формате размещается на главной странице сайта [Электронный ресурс. Режим доступа: <https://mir.extech.ru> (дата обращения: 03.04.2025)] на вкладке «База ХО (ХП)» и актуализируется в режиме онлайн.

В соответствии с поручением Департамента развития технологического предпринимательства и трансфера технологий Минобрнауки России значительно расширен функционал открытой части информационной системы «Учет и мониторинг малых инновационных предприятий научно-образовательной сферы», предназначенной для посетителей сайта [8].

Информационная система постоянно совершенствуется. Так, в настоящее время в нее введены нижеследующие доработки.

Для облегчения нахождения ошибок и не до конца заполненных данных о ХО (ХП) были добавлены новые фильтры в поиске по базе данных для федеральных округов и ведомственной принадлежности учредителя, — теперь можно находить ХО (ХП) там, где необходимые данные не были указаны.

Также обновлены данные о регионах, введены в систему новые регионы, недавно вошедшие в состав Российской Федерации, такие как Луганская Народная Республика, Донецкая Народная Республика, Запорожская область и Херсонская область.

В связи с учащающимися попытками взлома добавлены проверки для загружаемых пользователями файлов в данных о ХП (ХП) на шаге 5 интерактивной анкеты учета. В настоящее время для загрузки доступны только файлы с расширениями .pdf, .doc, .docx, .jpg, .png, .rar и .jpeg. Проверка используется как по названию файла, так и по его предполагаемому содержанию средствами РНР для предотвращения загрузки файлов с измененным вручную расширением. Ранее загруженные файлы проверены, подозрительные и неподходящие удалены, исправлена ошибка изменения наименований уже загруженных файлов.

Также исправлены и обновлены некоторые тексты на сайте для более корректной информации, как и исправлены некоторые некритичные ошибки, например, отображение неправильного статуса ХО (ХП) при сочетании определенных условий.

Для более быстрой возможности связаться с ответственными за ХО (ХП) от учредителей организована возможность указания их номеров телефона.

В настоящее время происходит доработка формирования отчета для более понятного отображения всё увеличивающегося количества необходимой для вывода информации и статистики.

На основании информации учета уведомлений о создании ХО (ХП) на 03.04.2025 в базу данных занесено 1365 действующих ХО (ХП), из них:

- при участии 268 высших учебных заведений создано 1185 ХО (ХП);
- при участии 117 научных учреждений создано 195 ХО (ХП);
- в том числе совместно научными учреждениями и высшими учебными заведениями создано 15 ХО (ХП).

Наибольшее число ХО (ХП) на 03.04.2025 создано в системе Министерства науки и высшего образования Российской Федерации; 265 вузами и научными учреждениями (68,8 % от числа всех учредителей) создано 1087 действующих ХО (ХП) (78,9 % от общего числа созданных).

В уставные капиталы ХО (ХП) учредителями внесено право использования 1732 РИД. В составе РИД, право использования которых вносилось в уставные капиталы, высока доля ноу-хау, программ для ЭВМ и изобретений.

Количество заключенных лицензионных договоров составляет 1527 (в том числе с исключительной лицензией – 230).

На диаграммах (рис. 1–5) показана статистика в различных разрезах по состоянию на 03.04.2025 о созданных и действующих на настоящий момент ХО (ХП) в согласованном формате, сформированная автоматизированной информационной системой «Учет и мониторинг малых инновационных предприятий научно-образовательной сферы».

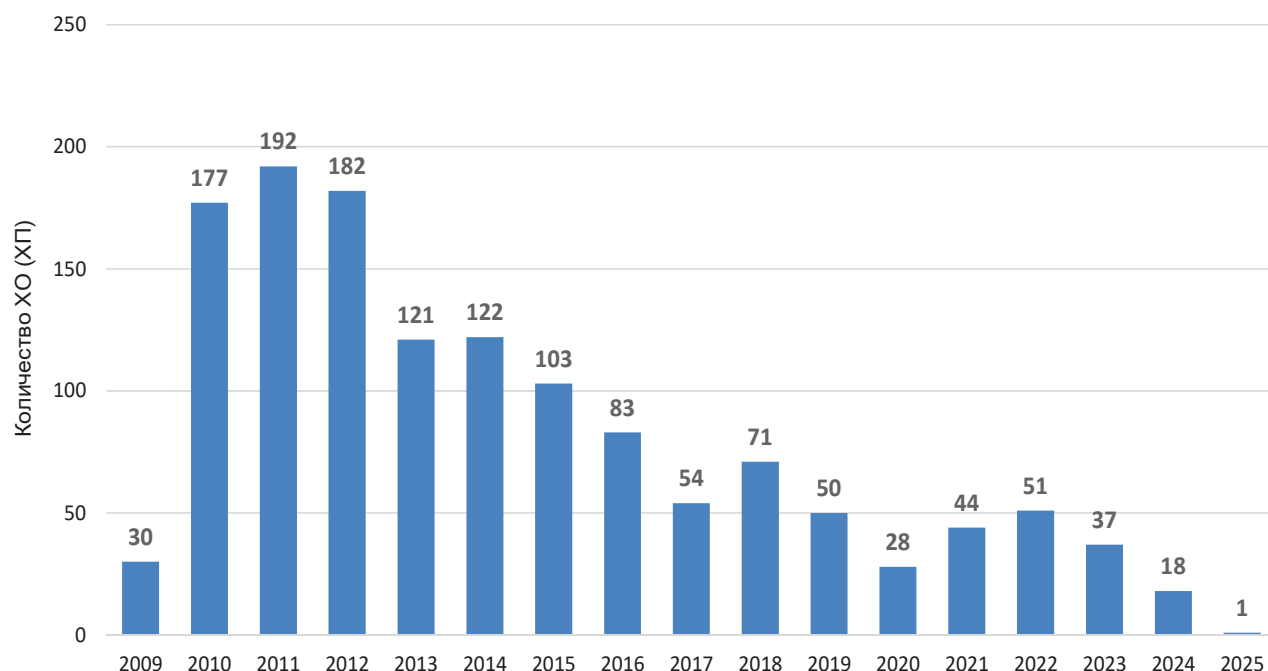


Рис. 1. Динамика создания малых инновационных предприятий по годам, действующих на настоящий момент

В системе постоянно актуализируется в режиме реального времени и формируется информация по статистике учета уведомлений о создании ХО (ХП) в согласованном формате, которая отражена в диаграммах рис. 1–5. Кроме того, за годы действия (2009–2025 гг.) Закона № 217 [1] было ликвидировано 2037 ХО (ХП) (информация на 03.04.2025).

Данные статистики учета уведомлений о создании ХО (ХП) подтверждают тенденцию к существенному снижению темпов создания новых ХО (ХП). Наиболее активно создание ХО (ХП) происходило в период 2010–2015 гг. и стало снижаться к 2024–2025 гг.

Этот процесс связан не только с экономическими причинами, но и с недостаточностью в вузах кадрового потенциала, готового заниматься предпринимательской деятельностью.

Указанная система также формирует Реестр учета уведомлений о создании ХО (ХП) в целях последующей его передачи в налоговые органы.

В 2024 г. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ сформирован перечень ХО (ХП) по состоянию на 01.07.2024 в соответствии с форматом, утвержденным приказом Федеральной налоговой службы от 25.02.2020 № ЕД-7-14/125@ «Об утверждении рекомендуемого формата представления сведений поставщиками для целей ведения Единого реестра субъектов малого

и среднего предпринимательства в электронной форме», как предусмотрено Федеральным законом от 24.07.2007 № 209-ФЗ «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации» [4].

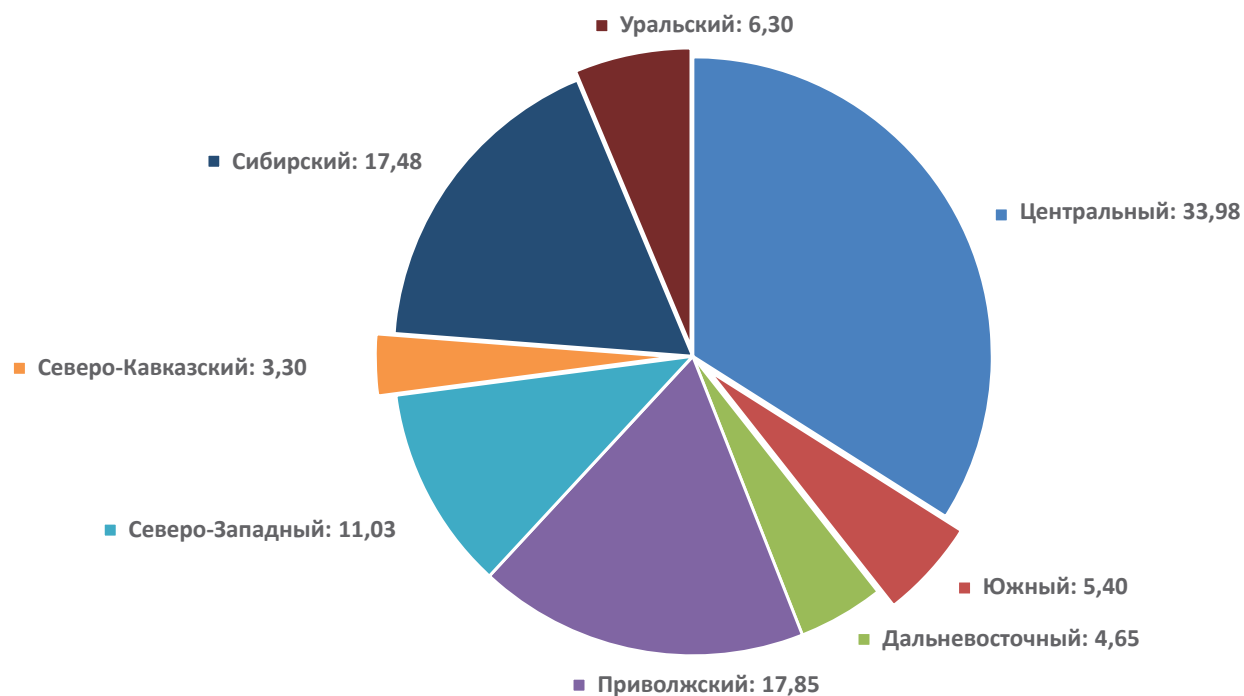


Рис. 2. Распределение малых инновационных предприятий по федеральным округам

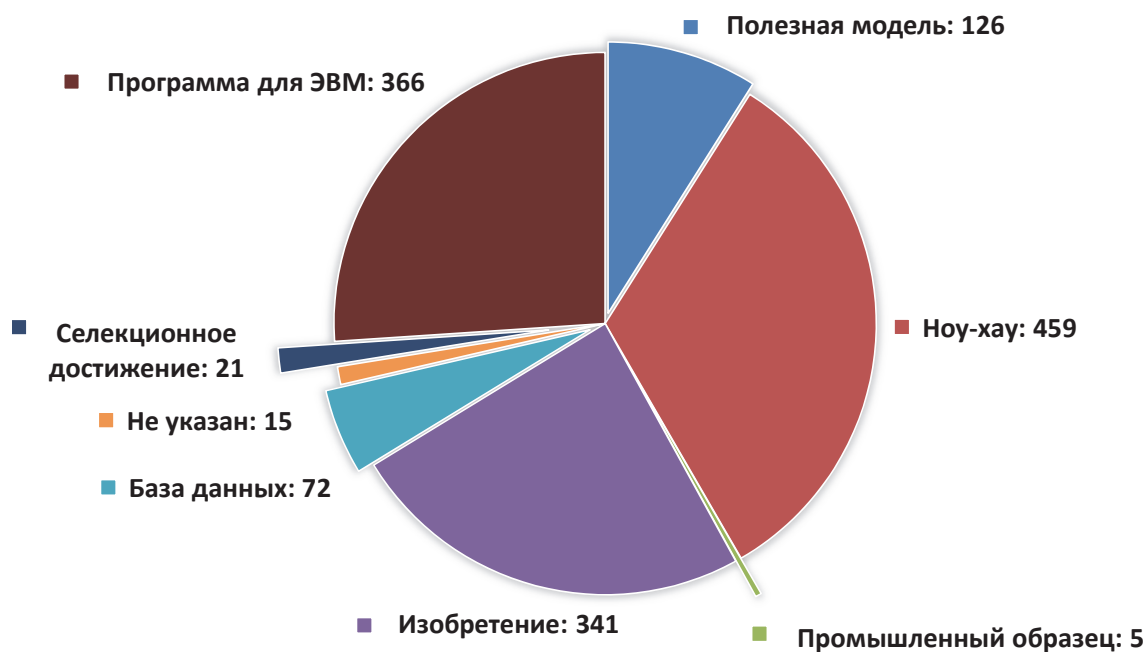


Рис. 3. Количество малых инновационных предприятий по видам РИД

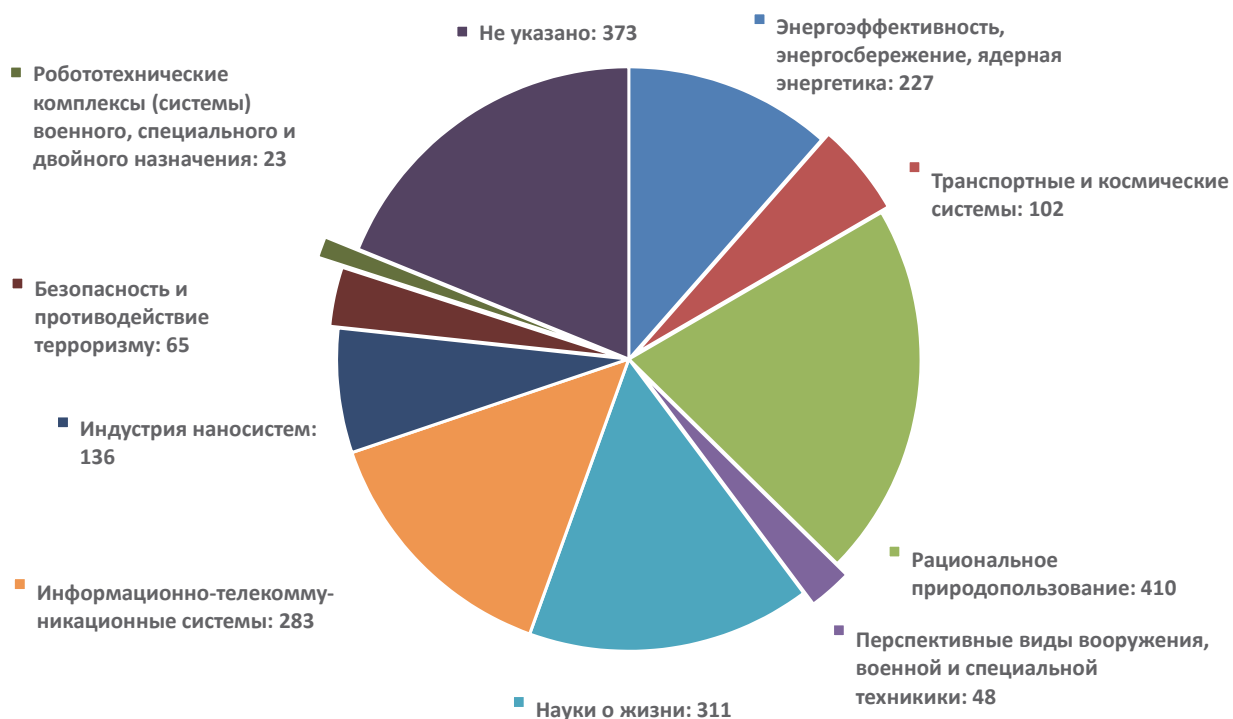


Рис. 4. Количество малых инновационных предприятий по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники



Рис. 5. Десять субъектов Российской Федерации, в которых создано наибольшее количество малых инновационных предприятий

Перечень представлен в Минобрнауки России 01.07.2023 (исх. № 613) и был включен сотрудником Департамента развития технологического предпринимательства и трансфера технологий, имеющим ЭЦП (электронную цифровую подпись), в электронной форме в Единый реестр субъектов малого и среднего предпринимательства в электронной форме Федеральной налоговой службы.

Федеральным законом от 14.07.2022 № 239-ФЗ (ст. 2, п. 2.4) [9] установлено для плательщиков, включенных в Единый реестр малого и среднего предпринимательства ФНС: «...начиная с 2023 года применяется единый пониженный тариф страховых взносов в размере 15,0 процента в отношении части выплат в пользу физического лица, определяемой по итогам каждого календарного месяца как превышение над величиной минимального размера оплаты труда, установленного федеральным законом на начало расчетного периода».

Кроме того, ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ в 2024 г. ежеквартально формировался Реестр с использованием соответствующих средств информационной системы и направлялся в Минобрнауки России для дальнейшей передачи в налоговые органы.

Выводы

ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ обеспечило выполнение функций и полномочий Минобрнауки России, установленных нормативно-правовой базой, в части создания вузами и научными учреждениями малых инновационных предприятий, деятельность которых заключается в практическом применении (внедрении) результатов интеллектуальной деятельности [1–5].

Велся учет уведомлений о создании ХО (ХП), размещались сведения об их создании в сети Интернет, формировались и направлялись в Минобрнауки России годовой и квартальные реестры учета уведомлений для дальнейшей передачи в налоговые органы.

Автоматизированная информационная система «Учет и мониторинг малых инновационных предприятий научно-образовательной сферы» обеспечивает выполнение этих задач [Электронный ресурс. Режим доступа: <http://mip.extech.ru> (дата обращения: 03.04.2025)].

Согласно результатам проведения учета уведомлений о создании ХО (ХП) наиболее активно создание происходило в период 2010–2015 гг. и стало относительно слабым к 2024–2025 гг.

В составе РИД, право использования которых вносилось в уставные и складочные капиталы ХО (ХП), высока доля ноу-хау, программ для ЭВМ и изобретений.

Статья подготовлена к изданию при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания на 2025 г. № 075-00682-25-02.

Список литературы

1. Федеральный закон от 02.08.2009 № 217-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам создания бюджетными научными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ в целях практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности». URL: <http://www.consultant.ru/online> (дата обращения: 03.04.2025).
2. Федеральный закон от 23.08.1996 № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике». URL: <http://www.consultant.ru/online> (дата обращения: 03.04.2025).
3. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации». URL: <http://www.consultant.ru/online> (дата обращения: 03.04.2025).
4. Федеральный закон от 24.07.2007 № 209-ФЗ «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации». URL: <http://www.consultant.ru/online> (дата обращения: 03.04.2025).
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 04.03.2011 № 146 «О ведении Реестра учета уведомлений о создании хозяйственных обществ, созданных бюджетными научными и образовательными учреждениями высшего профессионального образования, и порядке его передачи в органы контроля за уплатой страховых взносов». URL: <http://www.consultant.ru/online> (дата обращения: 03.04.2025).

6. Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 24.01.2014 № 43 «Об организации в Министерстве образования и науки Российской Федерации работы по учету уведомлений о создании хозяйственных обществ и хозяйственных партнерств». URL: <http://минобрнауки.рф> (дата обращения: 03.04.2025).

7. Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 14.02.2014 № 117 «Об утверждении формы Реестра учета уведомлений о создании хозяйственных обществ и хозяйственных партнерств, созданных бюджетными научными и автономными научными учреждениями либо образовательными организациями высшего образования, являющимися бюджетными или автономными учреждениями». URL: <http://минобрнауки.рф> (дата обращения: 03.04.2025).

8. Турко Т.И., Федорков В.Ф., Одинцова Н.Н., Родионова Г.Г., Фахурдинов О.В., Тимохин А.А. Статистика и инструменты государственного учета малых инновационных предприятий, созданных в научно-образовательной сфере // Инноватика и экспертиза. 2024. Вып. 1 (37). С. 10–21.

9. Федеральный закон от 14.07.2022 № 239-ФЗ «О внесении изменений в части первую и вторую Налогового кодекса Российской Федерации». URL: <http://www.consultant.ru/online> (дата обращения: 03.04.2025).

References

1. *Federal'nyy zakon ot 02.08.2009 No. 217-FZ «O vnesenii izmeneniy v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiyskoy Federatsii po voprosam sozdaniya byudzhетnymi nauchnymi i obrazovatel'ny-mi uchrezhdeniyami khozyaystvennykh obshchestv v tselyakh prakticheskogo primeneniya (vnedreniya) rezul'tatov intellektual'noy deyatel'nosti»* [Federal Law No. 217-FZ of 02.08.2009 «On Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation on the Establishment of Economic Companies by Budgetary scientific and educational institutions for the purpose of practical application (implementation) of the results of intellectual activity»]. Available at: <http://www.consultant.ru/online> (date of access: 03.04.2025).

2. *Federal'nyy zakon ot 23.08.1996 No. 127-FZ «O nauke i gosudarstvennoy nauchno-tekhnicheskoy politike»* [Federal Law No. 127-FZ of 23.08.1996 «On Science and State scientific and Technical policy»]. Available at: <http://www.consultant.ru/online> (date of access: 03.04.2025).

3. *Federal'nyy zakon ot 29.12.2012 No. 273-FZ «Ob obrazovanii v Rossiyskoy Federatsii»* [Federal Law No. 273-FZ of 29.12.2012 «On Education in the Russian Federation»]. Available at: <http://www.consultant.ru/online> (date of access: 03.04.2025).

4. *Federal'nyy zakon ot 24.07.2007 No. 209-FZ «O razvitii malogo i srednego predprinimatel'stva v Rossiyskoy Federatsii»* [Federal Law No. 209-FZ of 24.07.2007 «On the development of small and medium-sized businesses in the Russian Federation»]. Available at: <http://www.consultant.ru/online> (date of access: 03.04.2025).

5. *Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 04.03.2011 No. 146 «O vedenii Reestra ucheta uvedomleniy o sozdanii khozyaystvennykh obshchestv, sozdannykh byudzhетnymi nauchnymi i obrazovatel'nyimi uchrezhdeniyami vysshego professional'nogo obrazovaniya, i poryadke ego peredachi v organy kontrolya za uplatoy strakhovykh vnzosov»* [Decree of the Government of the Russian Federation No. 146 dated 04.03.2011 «On maintaining the Register of Registration of Notifications on the establishment of Business Entities established by budgetary scientific and educational institutions of higher professional education, and the procedure for its transfer to the bodies of control over the payment of insurance premiums»]. Available at: <http://www.consultant.ru/online> (date of access: 03.04.2025).

6. *Prikaz Ministerstva obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii ot 24.01.2014 No. 43 «Ob organizatsii v Ministerstve obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii raboty po uchetu uvedomleniy o sozdanii khozyaystvennykh obshchestv i khozyaystvennykh partnerstv»* [Order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dated 24.01.2014 No. 43 «On the organization in the Ministry of Education and Science of the Russian Federation of work on the registration of notifications on the establishment of business companies and business partnerships»]. Available at: <http://minobrnauki.ru> (date of access: 04.03.2025).

7. *Prikaz Ministerstva obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii ot 14.02.2014 No. 117 «Ob utverzhdenii formy Reestra ucheta uvedomleniy o sozdanii khozyaystvennykh obshchestv i khozyaystvennykh partnerstv, sozdannykh byudzhетnymi nauchnymi i avtonomnymi nauchnymi uchrezhdeniyami libo obrazovatel'nyimi organizatsiyami vysshego obrazovaniya, yavlyayushchimisya byudzhетnymi ili avtonomnymi uchrezhdeniyami»* [Order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dated 14.02.2014 No. 117

«On Approval of the Form of the Register of Registration of Notifications on the Establishment of Business companies and Business Partnerships established by budgetary scientific and autonomous scientific institutions or educational organizations of higher education that are budgetary or autonomous institutions»]. Available at: <http://minobrnauki.ru> (date of access: 04.03.2025).

8. Turko T.I., Fedorkov V.F., Odintsova N.N., Rodionova G.G., Fakhurdinov O.V., Timokhin A.A. (2024) *Statistika i instrumenty gosudarstvennogo ucheta malykh innovatsionnykh predpriyatiy, sozdannykh v nauchno-obrazovatel'noy sfere* [Statistics and tools of state accounting of small innovative enterprises established in the scientific and educational sphere] *Innovatika i ekspertiza* [Innovatika and expert examination]. Issue 1 (37). P. 10–21.

9. *Federal'nyy zakon ot 14.07.2022 No. 239-FZ «O vnesenii izmeneniy v chasti pervuyu i vtoruyu Nalogovogo kodeksa Rossiyskoy Federatsii»* [Federal Law No. 239-FZ dated 14.07.2022 «On Amendments to Parts One and Two of the Tax Code of the Russian Federation»]. Available at: <http://www.consultant.ru/online> (date of access: 04.03.2025).

ОБЕСПЕЧЕНИЕ И АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МАЛЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ, СОЗДАННЫХ В НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СФЕРЕ РОССИИ

Т.И. Турко, дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. биол. наук, ttamara16@extech.ru

В.Ф. Федорков, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, fedorkov@extech.ru

Н.Н. Одинцова, вед. инж. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, nno.ru@extech.ru

Г.Г. Родионова, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. экон. наук,
rodionova@extech.ru

А.А. Тимохин, ст. инж.-программист ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, timohinaa@extech.ru

Рецензент: Т.А. Яркова, эксперт Федерального реестра экспертов научно-технической сферы, д-р пед. наук, tatyanayarkova59@mail.ru

На основе проведенного мониторинга деятельности малых инновационных предприятий в статье показаны имеющиеся у учредителей научно-технические заделы, которые могут быть использованы для создания новых предприятий, а также изложены мероприятия и дан анализ экономической деятельности малых инновационных предприятий научно-образовательной сферы России.

Ключевые слова: малое инновационное предприятие (МИП), хозяйственное общество (ХО), хозяйственное партнерство (ХП), результаты интеллектуальной деятельности (РИД), мониторинг деятельности МИП, эффективность деятельности МИП, интерактивная информационная система.

PROVISION AND ANALYSIS OF ECONOMIC ACTIVITY OF SMALL INNOVATIVE ENTERPRISES ESTABLISHED IN THE SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL SECTOR OF RUSSIA

T.I. Turko, Director of Center, SRI FRCEC, Doctor of Biology, ttamara16@extech.ru

V.F. Fedorkov, Head of Department, SRI FRCEC, fedorkov@extech.ru

N.N. Odintsova, Leading Engineer, SRI FRCEC, nno.ru@extech.ru

G.G. Rodionova, Deputy Head of Department, SRI FRCEC, Doctor of Economics,
rodionova@extech.ru

A.A. Timohin, Senior Software Engineer, SRI FRCEC, timohinaa@extech.ru

The authors of the article, based on the method of monitoring the activities of small innovative enterprises, present the scientific and technical groundworks that can be used to create new small innovative enterprises. Also, the authors describe and analyze the economic activities of small innovative enterprises in the scientific and educational sector of Russia.

Keywords: small innovative enterprise (MIP), business society (CO), business partnership (CP), results of intellectual activity (RID), monitoring of MIP activities, efficiency of MIP activities, interactive information system.

Организация и проведение сбора сведений об экономической, научно-инновационной и другой деятельности ХО (ХП)

В 2024 г. сбор сведений об экономической, научно-инновационной и другой деятельности ХО (ХП) проведен в соответствии с письмом Департамента развития технологичес-

кого предпринимательства и трансфера технологий Минобрнауки России от 07.08.2024 № МН-14/694 в период с 15.08.2024 по 15.09.2024 в целях повышения эффективности их деятельности по практическому применению (внедрению) результатов интеллектуальной деятельности (РИД) [1–4].

Анкета сбора сведений о деятельности ХО (ХП) состояла из двух частей.

В ч. I анкеты включены основные разделы:

- научно-технические заделы, перспективные для реализации с помощью ХО (ХП) (технологии, материалы, продукты);
- о дополнительных мерах государственной поддержки экспорта продукции, производимой малыми инновационными предприятиями (МИП).

Анализ этой информации направлен на повышение эффективности деятельности ХО (ХП), на улучшение механизма практического применения (внедрения) РИД через их создание.

В ч. II анкеты включены вопросы, позволяющие исследовать экономическую деятельность ХО (ХП).

Анализ деятельности ХО (ХП): обработка сведений об экономической, научно-инновационной и другой деятельности ХО (ХП)

По разделам ч. I анкеты мониторинга в 2024 г. предложения представили 182 учредителя (47,4 % от общего числа учредителей).

В части научных заделов: «Научно-технические заделы, перспективные для реализации с помощью ХО (ХП) (технологии, материалы, продукты)» учредителям было предложено дать описание имеющихся у них научно-технических заделов под общим названием «Технологии», которые они считают возможным реализовать через создание ХО (ХП).

Учредителями, принявшими участие в анкетировании, показаны описания 490 технологий.

Из всех технологий можно отметить следующие разработки.

ФГБНУ «Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук»

«Органические полупроводники»

Синтез веществ для органической электроники и фотоники.

Возможны как продукты в рамках импортозамещения, так и новые материалы.

ФГАОУ ВО «Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского»

«Способ формирования тонких пленок аморфного кремния»

Изобретение относится к способу формирования тонких пленок аморфного кремния, возможно использование для производства солнечных батарей (на основе данных пленок).

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

1. «Воздушный винт беспилотного летательного аппарата, интегрированный с электрическим двигателем»

Разработка относится к области беспилотных летательных аппаратов, конкретнее — к области силовых установок беспилотных летательных аппаратов.

Получен патент на полезную модель № 223661.

2. «Бортовая интеллектуальная система трекинга объектов на основе нейросети»

Программа предназначена для интеграции с полетными контроллерами наземных и летательных беспилотных аппаратов.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024611479.

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук»

«Специальные технологии в сфере транспорта в городе Москве»

Разработан метод автоматического подсчета количества людей в автобусе во время движения с использованием видеопотоков с камер внутреннего наблюдения в режиме реально-

го времени; разработан метод автоматической фиксации наличия работников метрополитена и третьих лиц на входах и выходах из туннелей метрополитена.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

1. «Применение высокоэнергетических методов электрофизического воздействия для повышения эффективности процессов добычи, подготовки и транспорта углеводородов»

Технологические преимущества заключаются в повышении энергоэффективности и экологичности широко применяемых методов термохимического воздействия при добыче, сборе, подготовке и транспортировке углеводородов.

2. «Расчетный модуль геологического моделирования добычи нефтяной платформы»

Расчетный модуль для геологического моделирования добычи нефтяной платформы предназначен для автоматического формирования диаграмм динамики добычи нефти/газа/жидкости и динамики фонда скважин применительно к плавучей платформе по добыче нефти и газа в условиях шельфового месторождения.

ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

«Высокоэффективный солнечный элемент нового поколения»

Солнечный элемент на основе наноразмерных оксидных систем, допированных биметаллическими наночастицами благородных металлов.

Возможно использование для получения большого количества электроэнергии, применение в конструкциях беспилотников и электромобилей.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

«Нейросеть для управления в режиме реального времени системой автоматического обнаружения и тушения пожара»

Разработка с учетом имеющихся фундаментальных и прикладных результатов научных исследований нейронной сети, способной в режиме реального времени на основании сигналов технических средств (по выбору заказчика) за минимальное время с высокой вероятностью определить механизм инициирования возгорания, тип горючего материала, необходимый тип тушащего состава.

ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет»

1. «Технология промышленных интернет-вещей»

Разработка аналитической платформы, предназначенной для сбора, хранения и анализа данных о технологических процессах и событиях в реальном времени.

2. «Полимерные нанокомпозиты»

Создан опытный образец ультразвукового устройства для исследований тройного сополимера (метилметакрилат, бутилметакрилат, метакриловая кислота). Были изготовлены новые полимерные композитные материалы на основе выбранного сополимера.

3. «Фильтры на основе углеродных нанотрубок для очистки различных жидкостей»

Фильтр на основе углеродных нанотрубок предназначен для очистки различных жидкостей от тяжелых спиртов, атомов и ионов металлов.

ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»

«Программно-алгоритмическое обеспечение задачи оценки координат наземного подвижного излучающего объекта в пассивной угломерной системе с одним (двумя) БПЛА»

Разработаны и испытаны алгоритмы для решения задачи пассивного целеуказания по радиоизлучению наземного подвижного объекта с помощью одного или двух угломеров, размещенных на борту 1 (2) БПЛА.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

«Программно-аппаратный комплекс для зарядных станций электромобилей на отечественной компонентной базе силовой и микропроцессорной электроники»

Разработан и реализован новый программно-аппаратный комплекс для зарядных станций и стенда для его тестирования на базе отечественных микропроцессорных систем для

практической реализации технологического суверенитета в сфере цифровых технологий зарядной инфраструктуры.

ФГБОУ ВО «Южный федеральный университет»

1. «Система обнаружения аномалий и атак для БПЛА»

Технология обеспечивает детектирование атаки, оповещение оператора и необходимых подсистем БПЛА о факте проведения атаки. После оповещения об атаке управляющие механизмы БПЛА обеспечивают введение мер по противодействию атаке. Одним из вариантов противодействия может являться переход от глобальной системы навигации к локальной.

2. «Автономный БПЛА с функцией распознавания на основе доверенной разработки»

Разрабатываемое решение включает полный цикл разработки, начиная от платформы БПЛА, заканчивая высокоуровневой системой управления и оценки доверия к полету, а также корректировки поведения БПЛА при возникающих инцидентах информационной безопасности. Решение включает также разработку полетного контроллера, начиная от микропрограммного обеспечения, заканчивая аппаратной частью.

3. «Модуль оператора со встроенным механизмом анализа состояния полета и рекомендательной системой для построения полетного задания БПЛА»

Модуль оператора является приложением, обеспечивающим интерфейс между оператором и БПЛА либо группой БПЛА, который позволяет повысить качество и надежность полета БПЛА за счет встроенной рекомендательной системы.

ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»

«Земная станция спутниковой связи (ЗССС) на гиростабилизированной платформе для использования на различных мобильных платформах»

Разработаны технологические и программные решения, которые позволяют обеспечить автоматическое наведение и последующее удержание наведения ЗССС на заданный космический аппарат (КА) для обеспечения бесперебойной связи в движении.

Представленные учредителями технологии охватывают широкий спектр направлений — от простых прикладных разработок, направленных на удовлетворение потребности своего региона, до высоких технологий, таких как искусственный интеллект, нанотехнологии, полимерные полупроводниковые материалы и микроэлектроника, роботизированные устройства, социально-гуманитарные исследования общественных процессов, экономика, материаловедение (в том числе композитные материалы), авиация (включая беспилотные летательные аппараты) и ряд других.

Широкое развитие находят проекты, связанные с БПЛА, что говорит о высокой востребованности таких разработок.

Востребованы также проекты, направленные на создание технологий в области добычи и переработки углеводородов, что является сегодня актуальным для экономики России.

Указанные учредителями технологии в основном запатентованы, что обеспечивает возможность их включения в экономический и гражданский правовой оборот.

Основными подразделениями — разработчиками технологий, вузами и научными учреждениями указаны проблемные лаборатории, кафедры, технопарки, инжиниринговые центры, научно-образовательные центры, другие инфраструктурные подразделения, а также ХО (ХП).

По вопросу дополнительных мер государственной поддержки экспорта продукции ХО (ХП) в сборе сведений приняли участие 182 учредителя и только по 4 МИП показали наличие экспорта продукции, в том числе:

— МИП Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук поставил состав «Гидроизол-ИТХ», состав «Бетомикс-ИТХ», состав «Бетомикс-ИТХ Гель». Причем этот указанный МИП получил поддержку:

1) федеральный уровень: ставка 0 % по НДС;

2) региональный уровень: возмещение части затрат по грузоперевозкам на экспорт (Центр поддержки экспорта Пермского края – 448 тыс. руб., Министерство экономического развития и инвестиций Пермского края – 744,6 тыс. руб.);

– МИП Национального медицинского исследовательского центра терапии и профилактической медицины Министерства здравоохранения Российской Федерации поставил программно-аппаратный комплекс Polymed Prof для проведения профилактических осмотров и диспансеризаций вне стен лечебно-профилактического учреждения (ЛПУ);

– МИП Южно-Уральского государственного университета (национальный исследовательский университет) поставил умное зеркало ArtikMe, интерактивный пол (включая программные модули), интерактивные песочницы, интерактивные зоны; «Играй и развивайся», занятия для интерактивной доски;

– МИП Российского государственного университета социальных технологий планирует поставлять программные решения – адаптивные программные комплексы для образовательных платформ, работающих с людьми с ограниченными возможностями здоровья и инвалидностью. МИП принимал участие в конкурсе «Старт-ИИ-1» (очередь VIII) Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фонд содействия инновациям), в конкурсе грантов Президентского фонда культурных инициатив.

Из требуемых дополнительных мер поддержки экспорта продукции МИП целесообразно отметить наиболее актуальную позицию Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук:

– субсидирование (возмещение затрат) при получении международных сертификатов на технические моющие средства линейки «СПРИНТ»;

– субсидирование (возмещение затрат) для участия в выставках (РФ, международные).

В качестве поддержки экспорта продукции, произведенной МИП, также приняли участие:

– ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», который предлагает: «Предоставление субсидии для организации производства и внедрения технологий, распространение информации о разработанных технологиях в других субъектах РФ и за рубежом. Информирование смежников и потребителей в других государствах через государственные органы международного сотрудничества, торгово-промышленные палаты, организация конференций, содействие в заключении договоров, финансирование совместных инновационных проектов»;

– ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», который предлагает: «Продвижение проектов на межгосударственном уровне как социально-позитивных; адресное финансирование; предоставление площадей для размещения производства»;

– ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», который предлагает: «Гранты и кредиты под низкий процент (1–3 %)»;

– ФГАОУ ВО «Московский институт электронной техники», который предлагает: «Упорядочить взаимодействие с банками дружественных государств»;

– ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», который предлагает: «Уменьшение пошлин»;

– ФГБОУ ВО «Адыгейский государственный университет», который предлагает: «Требуется финансовая и менеджментская поддержка»;

– ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», который предлагает: «Консультационные услуги по сопровождению внешней экономической деятельности».

Все остальные учредители, принявшие участие по данному вопросу, отметили, что товары, работы или услуги, произведенные ХО (ХП), на экспорт не поставлялись, мерами госу-

дарственной поддержки ХО (ХП) в этой части не пользовались, запросы на дополнительные меры господдержки экспорта продукции ХО (ХП) отсутствуют.

Результаты проведенного опроса (ч. II анкеты) об экономической, научно-инновационной и другой деятельности ХО (ХП) представлены ниже.

Анализ кадрового потенциала ХО (ХП)

В 2024 г. в ч. II анкеты 220 (57,3 %) учредителей из 384 предоставили сведения за 2023 г. по 998 из 1389 находящихся в базе учета действующих ХО (ХП) (72,0 % ХО (ХП) были охвачены сбором сведений).

В части персонала ХО (ХП) обследование проводилось по учету общей численности и численности обучающихся (студентов, аспирантов).

Согласно полученным данным общая численность работников ХО (ХП), включая внешних совместителей, лиц, выполнявших работу по договорам гражданско-правового характера, работников, получавших заработную плату в организации, на 01.01.2024 составила 4636 человек. Средняя численность персонала за 2023 г. составила 3,3 чел. на одно ХО (ХП) из числа действующих. На 01.07.2024 общая численность составила 4551 чел., т. е. на 85 чел. меньше, чем в начале года. Доля обучающихся от общей численности сотрудников составила 6,3 и 7,1 % соответственно.

Общая численность персонала в разбивке по периодам, в том числе в категории «Обучающиеся», представлена на рис. 1.

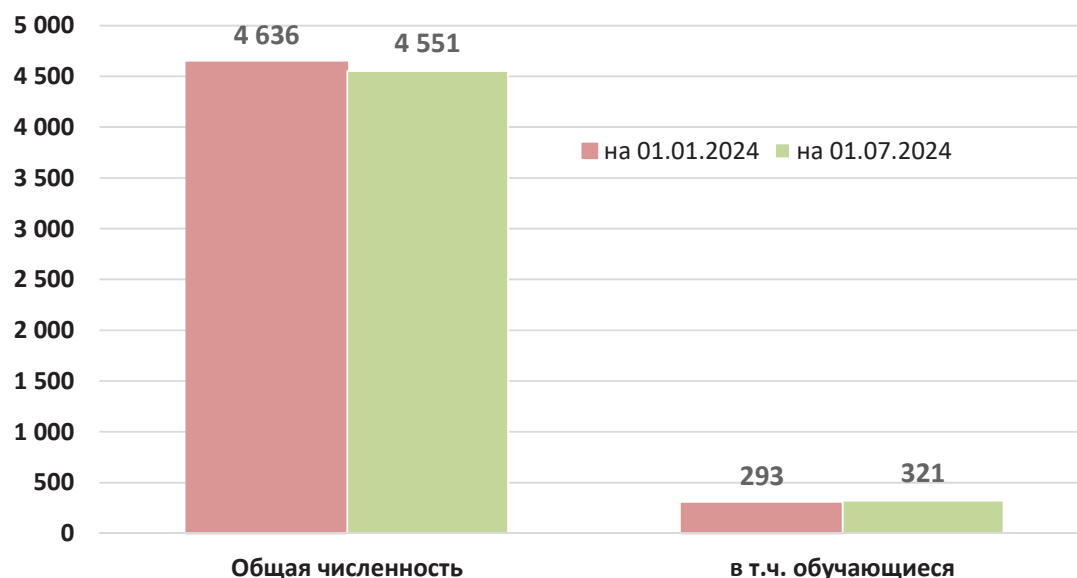


Рис. 1. Динамика численности персонала ХО (ХП)

Анализ сведений о выручке ХО (ХП)

Информация о выручке ХО (ХП) дает представление об объеме производимых и реализуемых ими продукции, работ и услуг. В анкете запрашивалось значение выручки в соответствии с отчетом о финансовых результатах за 2023 г. (в тыс. руб.).

В 2024 г. при проведении сбора сведений была предоставлена экономическая информация 220 (57,3 %) из 384 участвующих учредителей за 2023 г. по 998 (72,0 %) ХО (ХП) из 1389.

По данным сбора сведений, 90,2 % ХО (ХП), которые осуществляли деятельность, работали в 2023 г. с выручкой, общий объем которой составил 15 956 175,4 тыс. руб., по 9,8 % ХО (ХП), по которым была предоставлена информация, была показана нулевая выручка.

Средняя выручка в расчете на одно ХО (ХП) из тех, которые осуществляли деятельность, за 2023 г. составила 33 301,3 тыс. руб. (с показанной нулевой выручкой). При этом 33,2 % ХО (ХП), осуществлявших деятельность, имеют выручку до 1000 тыс. руб.

Сведения о распределении выручки ХО (ХП) представлены на графике (рис. 2). На нем для каждого интервала выручки в тыс. руб. отражены количество ХО (ХП) и накопленный (интегральный) процент общего количества ХО (ХП).

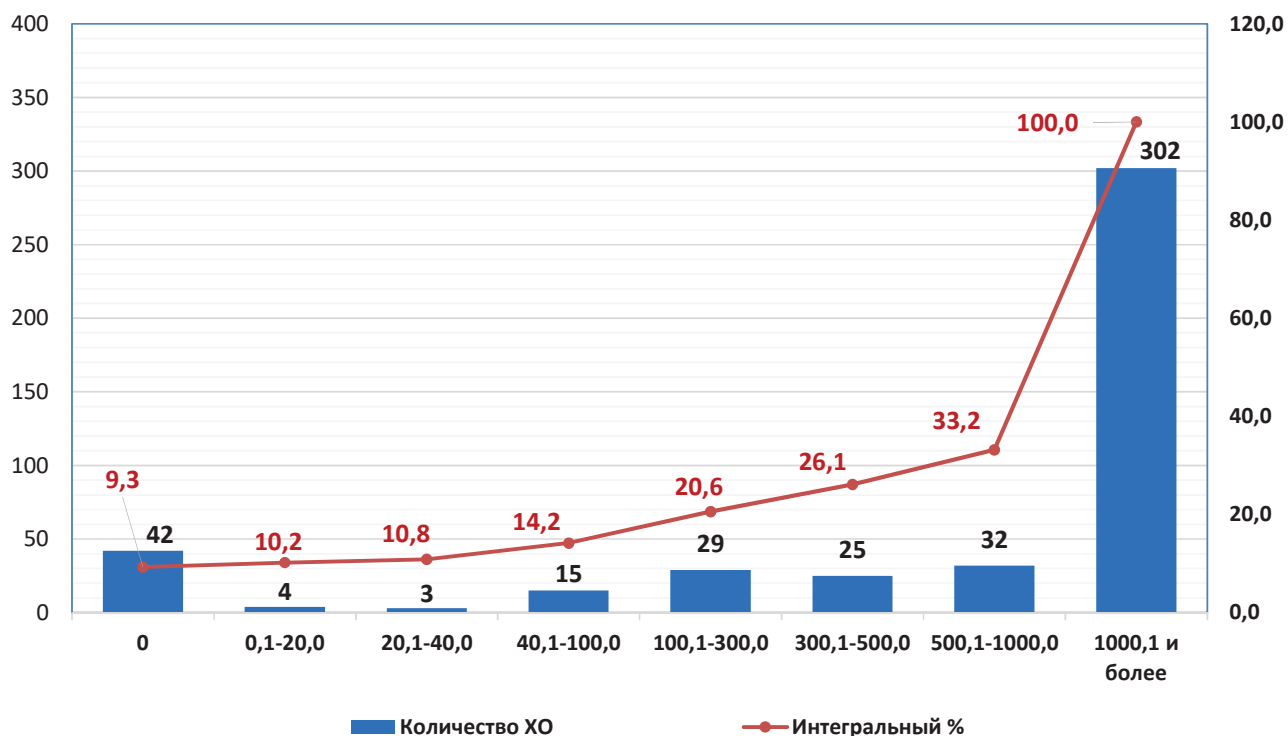


Рис. 2. Распределение выручки ХО (ХП), тыс. руб.

Распределение объема средней выручки на одно ХО (ХП), осуществляющее деятельность в зависимости от направления деятельности ХО (ХП) в соответствии с классификацией продукции (товары, НИОКР, работы (кроме НИОКР), услуги, от внедрения РИД) представлено на рис. 3.

В сборе сведений 2024 г. была поставлена также задача получения информации, в том числе о выручке от внедрения РИД, право использования которого внесено в уставной (складочный) капитал ХО (ХП). Такую информацию учредители показали по 30 ХО (ХП), и ее общий объем составил 388 592,6 тыс. руб., среднее значение — 12 953,1 тыс. руб. на одно ХО (ХП) из числа показавших выручку. Из числа осуществляющих деятельность (с учетом нулевых значений выручки) среднее значение на одно ХО (ХП) составило 1226,0 тыс. руб. Как видно из диаграммы рис. 3, из всех видов деятельности за 2023 г. преобладает показатель средней выручки (с учетом нулевых значений выручки) на одно ХО (ХП) по направлению «Работы (кроме НИОКР)» 112 855,0 тыс. руб., за 2022 г. этот показатель равнялся 73 541,0 тыс. руб.

Отмечается также, что за 2023 г. показатель средней выручки на одно ХО (ХП) по направлению деятельности «НИОКР» за 2023 г. вырос до 26 377,0 тыс. руб. с 10 786,0 тыс. руб. в 2022 г.

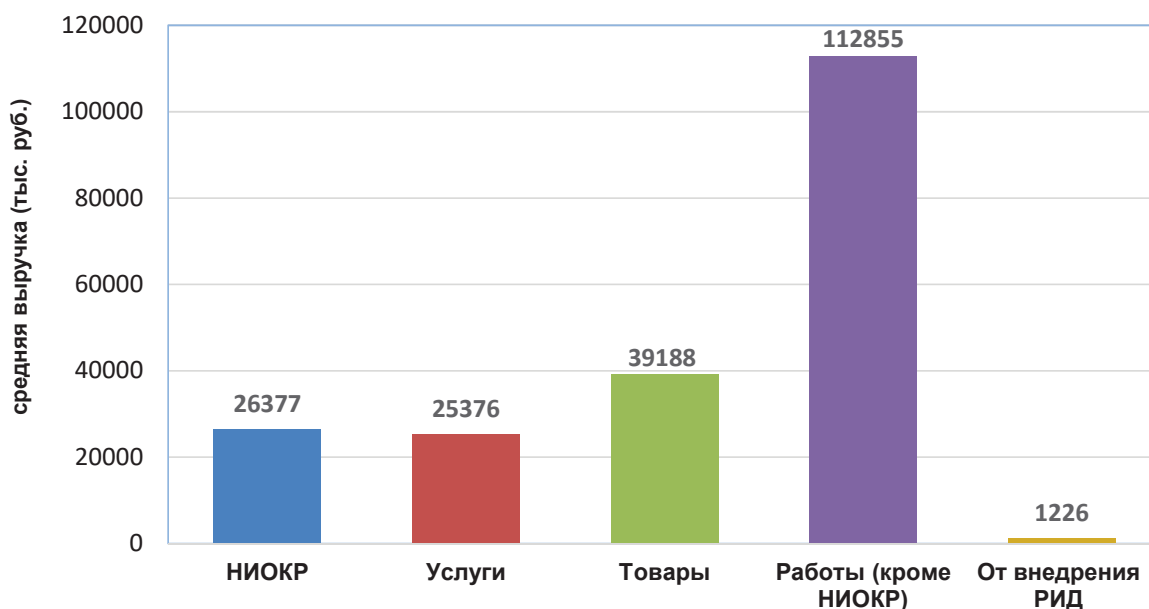


Рис. 3. Средняя выручка ХО (ХП) по видам деятельности

Структура выручки ХО (ХП), показавших за 2023 г. ненулевое значение по источникам, представлена на рис. 4. Анализ указанной выручки ХО (ХП) показал, что в основном эти ХО (ХП) ориентированы на работу с предприятиями и организациями.

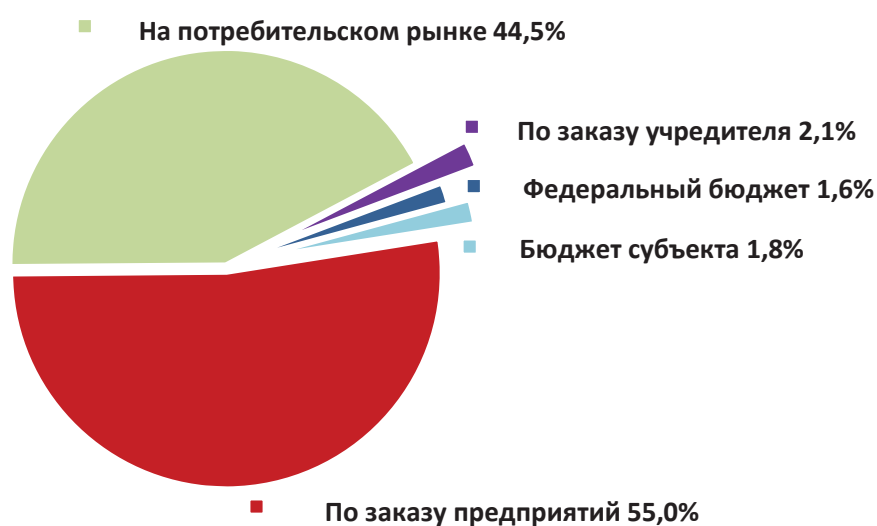


Рис. 4. Усредненная структура выручки ХО (ХП) по источникам

В целом выручка, полученная в рыночном секторе в 2023 г. (на потребительском рынке, по заказу предприятий), составляет в среднем 99,5 % общей выручки, при этом 44,5 % ХО (ХП) работают на потребительский рынок, 1,6 % ХО (ХП) работают по государственному заказу (федеральный бюджет), по заказу учредителя – 2,1 %.

Усредненная структура выручки ХО (ХП) по видам деятельности показана на рис. 5. Из диаграммы видно, что в 2023 г. по направлению деятельности ХО (ХП) «Работы (кроме НИОКР)» выручка по заказу предприятий составила 89,3 %. На потребительском рынке – 10,1 %.

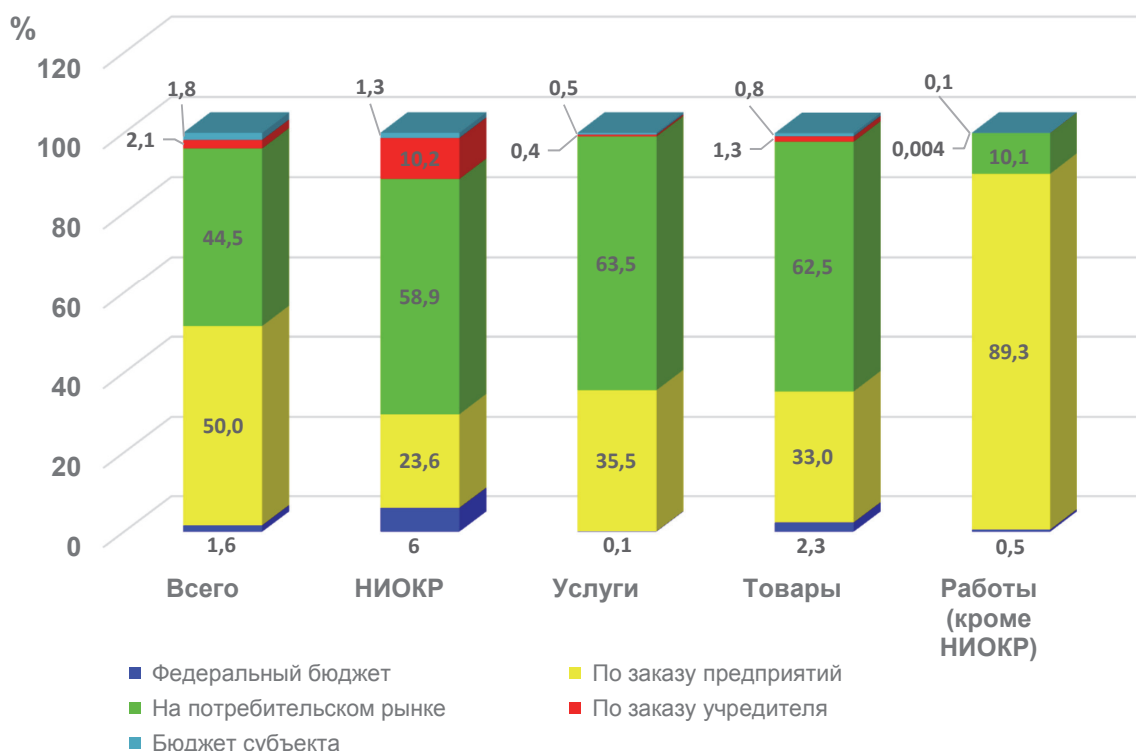


Рис. 5. Усредненная структура выручки ХО (ХП) по видам деятельности

По направлению «Товары» в 2023 г. выручка на потребительском рынке составила 62,5 %, в 2022 г. этот показатель был равен 65,5 %. «НИОКР» – выручка по заказу предприятий составила в 2023 г. 23,6 % вместо 92,7 % в 2022 г. «Услуги» по заказу предприятий – выручка составила в 2023 г. 35,5 %, в 2022 г. она составила 59,4 %. Эти факты свидетельствуют об ориентации деятельности ХО (ХП) на интересы региона и региональные рынки.

Анализ сведений о привлечении средств ХО (ХП)

Средний объем привлеченных средств на одно ХО (ХП) (от общего числа ХО (ХП), по которым предоставлялась информация) за 2023 г. составляет 2343,2 тыс. руб. Структура привлеченных средств по источникам финансирования представлена на рис. 6.

По данным, предоставленным учредителями, преобладающим источником средств, привлеченных на развитие ХО (ХП) в 2023 г., являются средства бюджета, суммарный объем которых в 2023 г. составил 196 141,0 тыс. руб. по 22 ХО (ХП) (в среднем 7688,2 тыс. руб. на одно ХО (ХП) из числа показавших ненулевые значения).

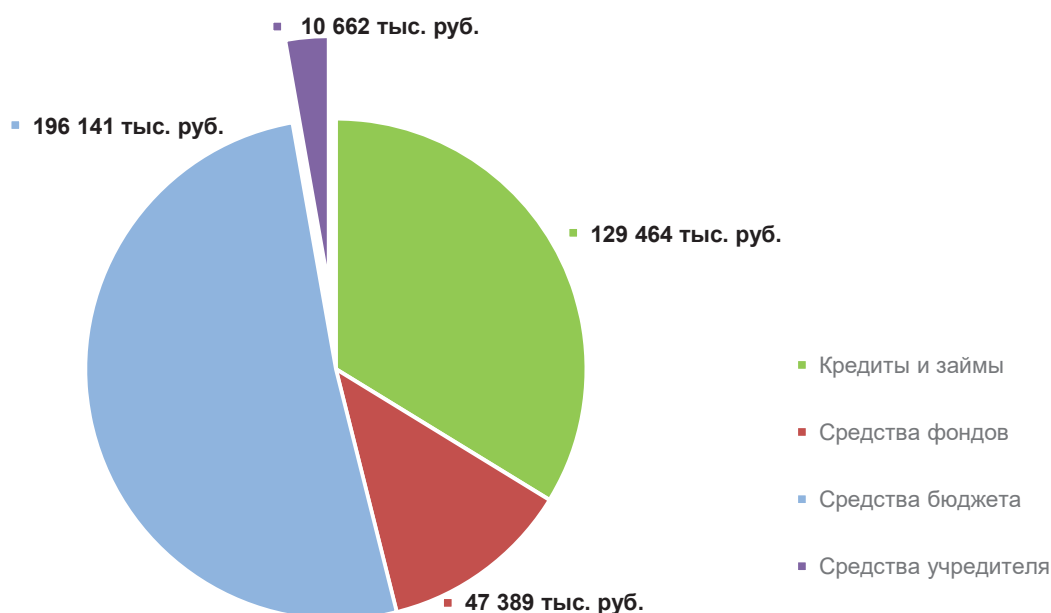


Рис. 6. Усредненная структура привлеченных ХО (ХП) средств по источникам

Кредиты и займы в объеме 129 464,0 тыс. руб. в 2023 г. получили 17 ХО (ХП). Средний объем средств полученных кредитов и займов из числа показавших ненулевые значения составил 7615,5 тыс. руб. на одно ХО (ХП).

Средства фондов получили в 2023 г. 14 ХО (ХП). Суммарный объем привлеченных средств фондов составил 47 389,0 тыс. руб. (в среднем 3385,0 тыс. руб. на одно ХО (ХП) из числа показавших ненулевые значения).

Средства от учредителей в объеме 10 662,0 тыс. руб. в 2023 г. получили 12 ХО (ХП). Средний объем средств, полученных от учредителей в качестве финансовых вливаний, составил 888,5 тыс. руб. на одно ХО (ХП) из числа показавших ненулевые значения.

Анализ сведений о прибыли ХО (ХП)

Из числа ХО(ХП), по которым были предоставлены данные за 2023 г., 26,4% (264 из 998 ХО (ХП)) получили прибыль. Общий ее объем из числа прибыльных составил 1 748 591,9 тыс. руб., при этом по 91 ХО (ХП) из числа, по которым велась деятельность, была показана нулевая прибыль («0»), а по 60 ХО(ХП) показан убыток, общий объем которого составил 83 268,1 тыс. руб. (1387,8 тыс. руб. на одно ХО (ХП)).

Среднее значение прибыли в расчете на одно ХО (ХП) из тех, по которым была предоставлена информация (415 ХО (ХП)), в 2023 г. составило 4012,8 тыс. руб. (по всем ведущим деятельность ХО (ХП) с учетом показавших нулевую прибыль и убыток), среднее значение прибыли на одно ХО (ХП) из числа показавших прибыль (264 ХО (ХП)) составило 6623,5 тыс. руб.

Структура прибыли в распределении по видам деятельности в соответствии с данными анкетирования представлена на рис. 7.

Важнейший показатель экономической деятельности ХО (ХП) – прибыль от внедрения РИД, что является основной целью их создания и характеризует степень инновационной деятельности.

Прибыль от внедрения РИД за 2023 г. показали 31 ХО (ХП) (3,1 % принявших участие в сборе сведений), объем прибыли по этому показателю составил 58 408,0 тыс. руб.

(2249,0 тыс. руб. на одно ХО (ХП) из числа показавших прибыль). Среднее значение прибыли из общего числа ведущих деятельность ХО (ХП) и принявших участие в сборе сведений по данному показателю составило 190,8 тыс. руб. на одно ХО (ХП).

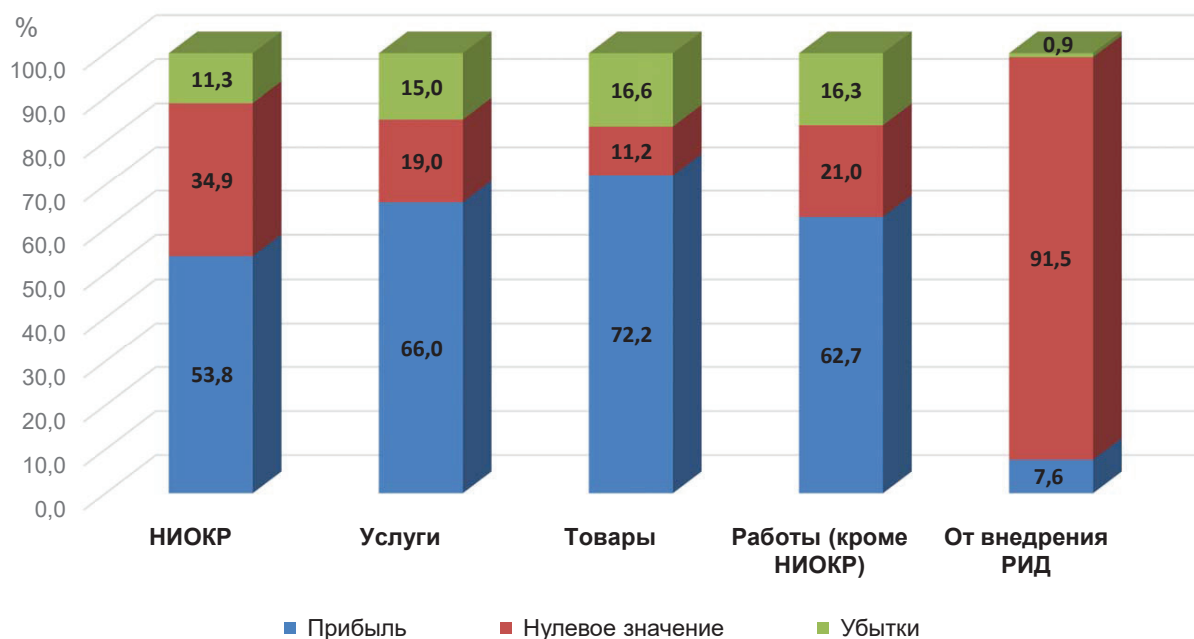


Рис. 7. Структура чистой прибыли в распределении видов деятельности ХО (ХП)

Это говорит о том, что ХО (ХП) уделяют недостаточно внимания основной деятельности, регламентированной законодательством, по практическому использованию (внедрению) РИД.

На рис. 8 представлены процент прибыльных ХО (ХП) из числа предоставивших сведения по данному вопросу (правая ось) и средний размер чистой прибыли в тыс. руб., рассчитанный по прибыльным ХО (ХП) (левая ось) в разрезе видов деятельности. Наименьший размер чистой прибыли наблюдается в сфере реализации «Услуги». Высок процент чистой прибыли по виду деятельности «Работы (кроме НИОКР)».

Анализ использования ХО (ХП) инфраструктуры учредителя

Из 998 ХО (ХП), по которым учредители предоставили информацию за 2023 г., лишь 98 (9,8 %) ХО (ХП) арендуют площади для своей деятельности. Из числа ХО (ХП), арендующих площади и показавших ненулевые значения, средняя площадь аренды составила 366,3 м² на одно арендующее площади ХО (ХП), причем 46,4 % из них арендуют площадь менее 50 м² (рис. 9).

Кроме того, анализ данных сбора сведений показал, что из 998 ХО (ХП), по которым внесены сведения, только 82 (8,2 %) ХО (ХП) в 2023 г. используют в своей деятельности оборудование учредителя, а остальные ХО (ХП) его не используют.

Из данных сбора сведений следует, что 74 из 998 ХО (ХП) (7,3 %) в той или иной степени в 2023 г. используют инновационную инфраструктуру или иную форму поддержки со стороны региона, в том числе:

- льготную аренду помещений, оборудования;
- оказание образовательных услуг;

- предоставление информационной поддержки;
- предоставление консультационной поддержки, содействие в формировании проектной документации;
- формирование спроса на инновационную продукцию;
- финансовое обеспечение, в том числе: субсидии, гранты, кредиты, займы, гарантии, взносы в уставный капитал;
- предоставление консультационных и юридических услуг;
- поддержку экспорта;
- предоставление льгот по уплате налогов;
- безвозмездное предоставление оборудования и помещений.

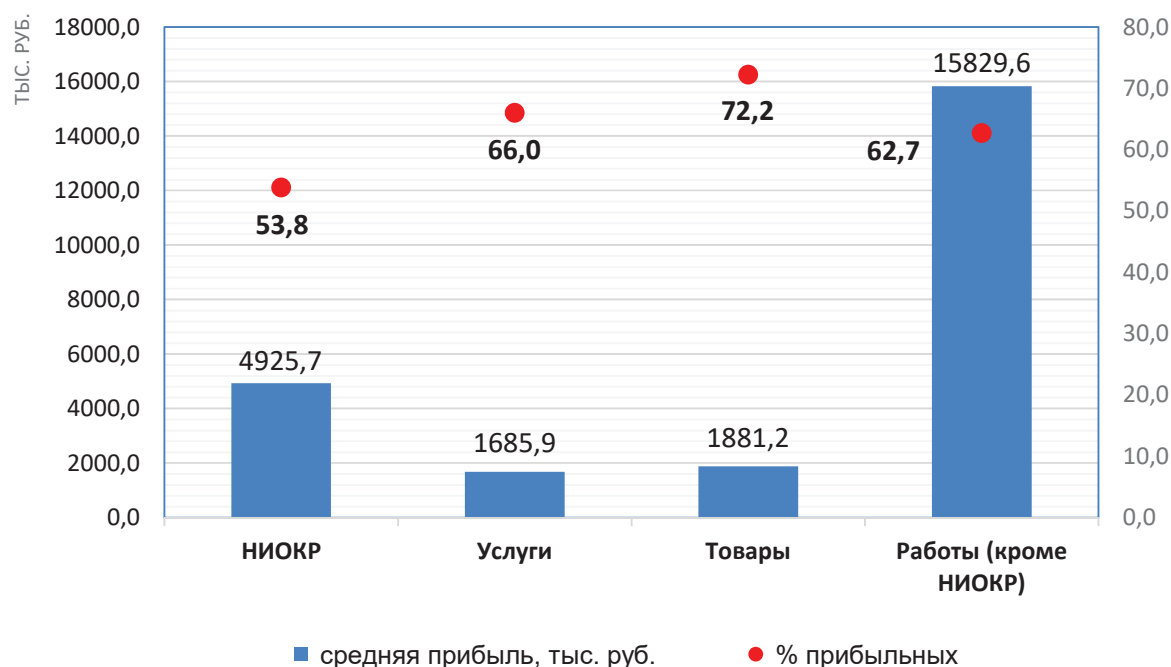


Рис. 8. Сведения о средней чистой прибыли ХО (ХП)

Анализ результатов интеллектуальной деятельности, созданных хозяйственными обществами и хозяйственными партнерствами, и проектов с их использованием

В сборе сведений также запрашивалась информация о количестве РИД, созданных ХО (ХП) в 2023 г. Из 998 ХО (ХП), сведения о которых были предоставлены в сборе сведений, 96 ХО (ХП) показали создание 1633 РИД, что составляет 1,6 РИД на одно ХО (ХП) в целом, или 17,0 РИД на одно ХО (ХП) из числа создавших и показавших ненулевое значение.

Число проектов, выполненных ХО (ХП) в 2023 г. с использованием РИД, составило 3101. Эти проекты выполнили 71 ХО (ХП) из 998, что составило 7,1 %.

Анализ объемов средств учредителю за право использования РИД, отчислений (дивидендов) учредителю, средств, полученных при выходе учредителя и при ликвидации ХО (ХП)

Учредители показали за 2023 г. объем средств, перечисленных им от 74 (7,4 %) ХО (ХП) за право использования РИД, внесенных в уставные (складочные) капиталы ХО (ХП), который составил 19 938,0 тыс. руб., или 269,4 тыс. руб. на одно ХО (ХП) из числа показавших ненулевые значения.

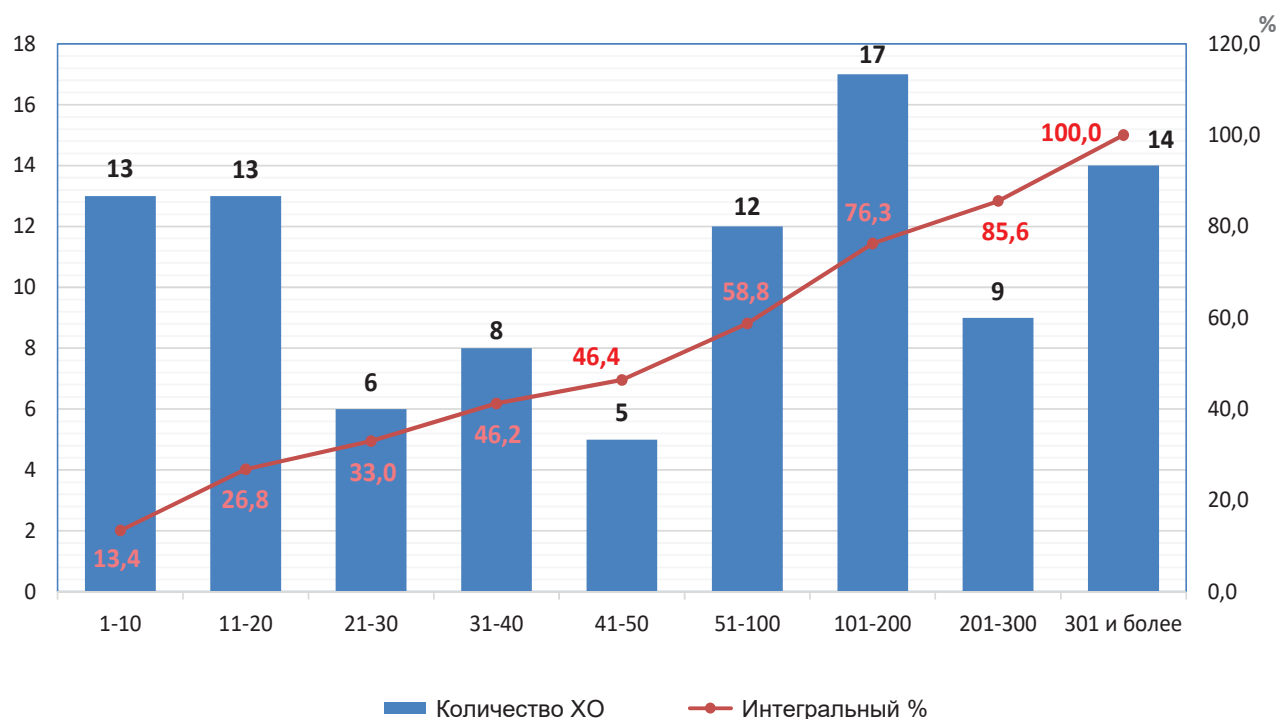


Рис. 9. Информация о размере площадей, арендуемых ХО (ХП) у учредителей

За 2023 г. 66 (6,6 %) ХО (ХП) также перечислили учредителям 1 078 031,0 тыс. руб. в качестве дивидендов (16 333,8 тыс. руб. на одно ХО (ХП) из числа показавших ненулевые значения).

Как уже отмечалось, в 2023 г. часть ХО (ХП) была ликвидирована или учредитель вышел из них. При этом учредитель имеет право на выплаты, предусмотренные законодательством.

В соответствии с п. 2 ст. 14 и п. 6.1 ст. 23 Федерального закона от 08.02.1998 № 14-ФЗ «Об обществах с ограниченной ответственностью» [5] (далее Общество) в связи с выходом участника Общество должно выплатить вышедшему участнику действительную стоимость его доли, которая соответствует части стоимости чистых активов Общества, пропорциональной размеру этой доли. Она определяется по данным бухгалтерской отчетности Общества за последний отчетный период, предшествующий дате перехода к нему доли вышедшего участника. То есть при выходе учредитель получает не то, что он внес в качестве вклада, — он получает действительную стоимость доли деньгами или, если он согласен, иное имущество на ту же стоимость.

Иными словами, участнику его вклад не возвращается. Он мог внести в качестве вклада в уставный капитал 10 млн руб., но если Общество работало с убытками, у него сформировались мизерные чистые активы, например в 100 руб., то участник при выходе получает не свой вклад в 10 млн руб., а пропорциональную его доле часть от 100 руб.

Или, наоборот, если у Общества сформировались чистые активы в 100 млн руб., то участник получает при выходе пропорциональную его доле часть от 100 млн руб.

Также за 2023 г. учредителям были перечислены от 3 (0,3 %) ХО (ХП) 1053,2 тыс. руб. в соответствии с законодательством Российской Федерации за выход учредителя из ХО (ХП), и ни от одного ликвидированного ХО (ХП) учредителем не было получено финансовых средств.

Основные выводы

В 2024 г. учредители ХО (ХП) показали рост количества научно-технических заделов (технологий), которые могут быть использованы для коммерциализации через механизм создания новых предприятий. Разработчиками технологий — вузами и научными учреждениями указаны проблемные лаборатории, кафедры, технопарки, инжиниринговые центры, студенческие стартапы, другие инфраструктурные подразделения, а также ХО (ХП).

Из числа ХО (ХП), по которым были предоставлены данные за 2023 г., 26,4 % (264 из 998 ХО (ХП)) получили прибыль. Важнейшим показателем инновационной деятельности МИП является прибыль от внедрения РИД, которая также была показана по ряду ХО (ХП).

Статья подготовлена к изданию при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания на 2025 г. № 075-00682-25-02.

Список литературы

1. Турко Т.И., Федорков В.Ф., Одинцова Н.Н., Родионова Г.Г., Тимохин А.А. Мероприятия и анализ экономической деятельности малых инновационных предприятий, созданных в научно-образовательной сфере за 2022–2023 годы // *Инноватика и экспертиза*. 2024. Вып. 2 (38). С. 19–31.
2. Федеральный закон от 23.08.1996 № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике». URL: <http://www.consultant.ru/online> (дата обращения: 11.04.2025).
3. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации». URL: <http://www.consultant.ru/online> (дата обращения: 11.04.2025).
4. Федеральный закон от 24.07.2007 № 209-ФЗ «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации». URL: <http://www.consultant.ru/online> (дата обращения: 11.04.2025).
5. Федеральный закон от 08.02.1998 № 14-ФЗ «Об обществах с ограниченной ответственностью». URL: <http://www.consultant.ru/online> (дата обращения: 11.04.2025).

References

1. Turko T.I., Fedorkov V.F., Odintsova N.N., Rodionova G.G., Timokhin A.A. (2024) *Meropriyatiya i analiz ekonomicheskoy deyatel'nosti malykh innovatsionnykh predpriyatiy, sozdannykh v nauchno-obrazovatel'noy sfere za 2022–2023 gody* [Events and analysis of the economic activity of small innovative enterprises established in the scientific and educational sphere for 2022–2023] *Innovatika i ekspertiza* [Innovation and Expert Examination]. Issue 2 (38). P. 19–31.
2. *Federal'nyy zakon ot 23.08.1996 No. 127-FZ «O nauke i gosudarstvennoy nauchno-tekhnicheskoy politike»* [Federal Law No. 127-FZ dated 08.23.1996 «On Science and State Scientific and Technical Policy»]. Available at: <http://www.consultant.ru/online> (date of access: 11.04.2025).
3. *Federal'nyy zakon ot 29.12.2012 No. 273-FZ «Ob obrazovanii v Rossiyskoy Federatsii»* [Federal Law No. 273-FZ dated 12.29.2012 «On Education in the Russian Federation»]. Available at: <http://www.consultant.ru/online> (date of access: 11.04.2025).
4. *Federal'nyy zakon ot 24.07.2007 No. 209-FZ «O razvitii malogo i srednego predprinimatel'stva v Rossiyskoy Federatsii»* [Federal Law No. 209-FZ dated 07.24.2007 «On the Development of Small and Medium-sized Enterprises in the Russian Federation»]. Available at: <http://www.consultant.ru/online> (date of access: 11.04.2025).
5. *Federal'nyy zakon ot 08.02.1998 No. 14-FZ «Ob obshchestvakh s ogranichennoy otvetstvennost'yu»* [Federal Law No. 14-FZ dated 02.08.1998 «On Limited Liability Companies»]. Available at: <http://www.consultant.ru/online> (date of access: 11.04.2025).

ЭКСПЕРТИЗА И АНАЛИТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

О МОНИТОРИНГЕ ВОСТРЕБОВАННОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ КРУПНЫХ НАУЧНЫХ ПРОЕКТОВ ПО ПРИОРИТЕТНЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

М.П. Засько, дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук, zasko@extech.ru

Р.Р. Илющенко, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, renaldi@extech.ru

Н.А. Миронов, дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук, namir@extech.ru

М.В. Сергеев, гл. аналитик ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук, mvsergeev@extech.ru

И.М. Сергеев, ст. аналитик ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, imsergeev@extech.ru

Рецензент: К.А. Гулин, ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук», д-р экон. наук, gulin_k@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы организационно-технического и информационного обеспечения мониторинга востребованности результатов выполнения крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития, поиска, систематизации и анализа данных в открытых информационных системах.

Ключевые слова: востребованность результатов, крупные научные проекты, приоритетные направления научно-технологического развития, методология, систематизация и анализ данных.

ON MONITORING THE DEMAND FOR RESULTS OF MAJOR SCIENTIFIC PROJECTS IN PRIORITY AREAS OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT

M.P. Zasko, Director of Centre, SRI FRCEC, Doctor of Engineering, zasko@extech.ru

R.R. Ilyushchenko, Deputy director of Centre, SRI FRCEC, renaldi@extech.ru

N.A. Mironov, Director of Centre, SRI FRCEC, Doctor of Engineering, namir@extech.ru

M.V. Sergeev, Chief Analyst, SRI FRCEC, Doctor of Engineering, mvsergeev@extech.ru

I.M. Sergeev, Senior Analyst, SRI FRCEC, imsergeev@extech.ru

The article addresses the issues of organizational and technical, as well as informational support for monitoring the demand for results of major scientific projects in priority areas of scientific and technological development, as well as the search, systematization, and analysis of data in open information systems.

Keywords: demand for results, major scientific projects, priority areas of scientific and technological development, methodology, systematization and analysis of data.

Введение

Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации ключевая роль в подготовке научно-технологического сектора страны к новым большим вызовам отводится российской фундаментальной науке, обеспечивающей получение новых знаний и опирающейся на внутреннюю логику своего развития [1]. В качестве приоритетов научно-технологического развития определены направления, позволяющие получить значимые научные и на-

учно-технические результаты и создать отечественные наукоемкие технологии. При этом одним из основополагающих принципов государственной политики в области научно-технологического развития является государственная и общественная поддержка фундаментальных и поисковых научных исследований как инструмента долгосрочного развития страны.

В соответствии с Правилами предоставления из федерального бюджета грантов в форме субсидий на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития (далее – КНП), утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 27.12.2019 № 1902 (в ред. постановления Правительства Российской Федерации от 14.08.2023 № 1333) [2, 3], «целью предоставления грантов является оказание государственной поддержки реализации проектов по направлениям, определяемым Российской академией наук для формирования научного задела устойчивого и долгосрочного развития Российской Федерации за счет эффективной реализации фундаментальных научных исследований». При этом в постановлении отмечается, что решение о продлении предоставления гранта принимается Министерством науки и высшего образования Российской Федерации на основании рекомендаций Экспертного совета с учетом заключений Российской академии наук, подготовленных на основе оценки полученного результата предоставления гранта. Такая оценка проводится, в том числе, по следующим критериям:

- наличие социально-экономического эффекта от дальнейшей реализации результатов проекта;

- наличие организаций, заинтересованных в полученных результатах проекта.

Таким образом, одним из критериев оценки результатов, полученных при реализации КНП, является их востребованность, т.е. необходимость и потребность [4].

Основные подходы к оценке востребованности результатов КНП

В рамках данной статьи под востребованностью результатов исследований и разработок понимаются самые разные аспекты спроса на них для практического применения, формируемого со стороны государства как основного заказчика, а также бизнеса и общества. В свою очередь, востребованность результатов выполнения КНП частично оценивается в ходе мониторинга, который осуществляется в целях обеспечения эффективного управления реализацией КНП [5, 6]. В интересах анализа и оценки востребованности результатов КНП в ходе мониторинга контролируется достижение значений результатов предоставления гранта и показателей, необходимых для достижения результатов предоставления гранта, установленных в соглашениях. К таким показателям, в частности, относятся:

- количество заявок на получение охранных документов на результаты интеллектуальной деятельности, созданные при выполнении проекта;

- количество публикаций первого и второго квартилей «Белого списка» и на конференциях уровня А*;

- количество представленных к защите по результатам исследования диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук и на соискание ученой степени доктора наук.

Приведенные выше показатели не в полной мере позволяют всесторонне оценить востребованность результатов исследований и разработок в части спроса для практического применения. Поэтому предлагается оценку востребованности результатов НИОКР проводить как на практическом (прикладном), так и на теоретическом уровнях их применения, т.е. с точки зрения экономической (рыночной) и нерыночной полезности.

При практическом (прикладном) подходе к оценке востребованности результатов КНП предлагается проводить анализ экономических и социальных эффектов от их внедрения с учетом, например, следующих показателей:

- востребованность новой продукции государственным, общественным и рыночным секторами;

- удовлетворение спроса на социальные услуги и т.д.

При теоретическом (внерыночном) подходе к оценке востребованности результатов КНП предлагается проводить анализ научных и научно-технических эффектов от их применения в других НИР с учетом, например, следующих показателей:

- развитие фундаментальной науки;
- развитие устойчивости к различным техногенным, экономическим и другим катаклизмам;
- развитие сектора (сферы) обороны и безопасности.

Предлагаемый подход к мониторингу результатов КНП направлен на то, чтобы подтвердить продекларированную важность полученных результатов, их востребованность экономикой и в конечном счете обеспечить, чтобы они были реализованы, а не «ложились на полку» [7].

Анализ основных эффектов от использования результатов КНП

В целях оценки востребованности результатов КНП в качестве эффектов понимаются научные, социальные или технические продукты, полученные на разных стадиях цикла: наука — технология — производство — применение. То есть реализованные в виде конкретных продуктов результаты КНП должны обеспечить решение социальных, экономических, технических и других задач. Поэтому рассмотрим следующие основные виды полезного эффекта от применения результатов КНП: научный, научно-технический, социальный и экономический.

Научно-технический эффект характеризует возможность использования результатов КНП в других научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах и обеспечивает получение информации, необходимой для создания новой продукции. Данный эффект может быть выражен как научными, так и техническими показателями. Научный эффект характеризуется получением новых научных знаний, отражает прирост информации, предназначенной для дальнейшего научного потребления, и может быть оценен следующими показателями:

- количество полученной и накопленной информации (монографии, статьи, научные доклады и другие публикации);
- количество результатов интеллектуальной деятельности (число патентов и авторских свидетельств);
- признание работы (число дипломов и медалей тематических выставок, использование работы в других исследованиях, число ссылок на работу в печати);
- повышение квалификации кадров (присвоение научных званий, докторские и кандидатские диссертации);
- использование результатов исследований в учебном процессе (современные методики и организация обучения, качество подготовки студентов).

Технический эффект характеризуется конструкторско-технологическими показателями: снижение материалоемкости и энергоемкости; повышение безотказности и долговечности; степень импортозамещения, унификации и стандартизации, другие показатели, используемые при проектировании и разработке технологий и техники.

Социальный эффект выражается изменением социальных условий жизни людей за счет воздействия результатов КНП на характер и содержание труда человека, общественные условия его жизни и характеризуется рядом качественных показателей: улучшение условий труда и повышение степени его автоматизации; повышение жизненного уровня и бытовых условий населения; сохранение и улучшение окружающей природной среды и т.д. При этом некоторые социальные эффекты, достигнутые на основе КНП, могут быть оценены количественно в соответствующих единицах, например: чистота атмосферы в регионе, населенном пункте, производственном помещении; характеристика промышленных отходов; уровень шума, освещенность и т.д.

Экономический эффект характеризует коммерческую выгоду, полученную при использовании результатов КНП. Он заключается в получении дополнительных экономических выгод (экономия материальных, трудовых, финансовых и энергетических ресурсов) и характеризуется показателями: снижение себестоимости и издержек производства; срок окупаемости капитальных вложений; годовой экономический эффект и т.д. Непосредственно экономический эффект формируется на стадиях внедрения в производство и эксплуатации объектов новой техники и технологий.

При этом необходимо отметить, что оценка экономического эффекта использования результатов КНП, кроме коммерческой выгоды, направлена на решение задач:

- управление ресурсами в сфере науки;
- определение вклада науки в развитие и повышение эффективности производства;
- совершенствование системы экономического стимулирования научных коллективов.

При итоговой оценке востребованности результатов КНП в качестве основного оценочного критерия принимается один из видов эффектов, а остальные учитываются как дополнительные или в качестве ограничения. Обычно за основу оценки принимается экономический эффект, а другие виды эффектов, при невозможности их выражения в денежной форме, принимаются в качестве дополнительных.

Информационные источники для мониторинга востребованности результатов КНП

В качестве наиболее достоверных источников информации для оценки востребованности результатов КНП рекомендуется использовать данные, предоставляемые непосредственно организациями-исполнителями КНП и организациями реального сектора экономики. При их отсутствии, а также в качестве дополнительных могут использоваться открытые информационные источники, например базы данных Росстата и других федеральных и региональных органов исполнительной власти, домена «Наука и инновации» в части организаций основных отраслей экономики. Широчайшие возможности для мониторинга востребованности результатов КНП предоставляют современные технологии Big Data и искусственного интеллекта.

В целях формализованного описания системы информационного обеспечения мониторинга востребованности результатов КНП источники информации могут быть распределены по трем уровням:

– уровень организации-исполнителя КНП, где собирается информация в рамках одной конкретной организации и используется в основном для решения внутренних задач. На этом уровне осуществляется учет полученных в результате выполнения КНП результатов научно-технической деятельности и их использования в гражданском правовом обороте, включая учет их передачи другим организациям. Этот уровень является первичной информационной основой для мониторинга востребованности результатов КНП;

– административно-территориальный уровень предполагает сбор информации и изучение инновационной научно-производственной системы на уровне регионов и охватывает все предприятия в административно-территориальной единице. В результате отслеживается реализация стратегии развития инновационного процесса в регионе, которая является основой для формирования перспективных, необходимых для инновационного развития перечней результатов интеллектуальной деятельности. На этом уровне происходит систематизация информации, в том числе о результатах КНП, которая потом дополнительно изучается исследователями и специалистами системы мониторинга востребованности;

– административно-отраслевой уровень предполагает оперативное отслеживание информации, содержащей изменяющиеся данные о результатах интеллектуальной деятельности (РИД) и их использовании в гражданском и правовом обороте в различных сферах отрасли. Системы учета РИД и мониторинга их использования на отраслевом уровне могут содержать сведения об использовании результатов КНП. На отраслевом уровне мониторинг про-

водится в рамках систем государственного учета результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения, выполняемых за счет средств федерального бюджета на основе данных, полученных из отчетных форм, годовых или квартальных отчетов.

Указанные уровни мониторинга позволяют получить информацию о процессе в динамике, обеспечивая специалистов заказчика актуальными и реальными данными, которые в дальнейшем используются для принятия эффективных управленческих решений по формированию тематики НИОКР.

Таким образом, мониторинг востребованности результатов КНП обеспечивается постоянным наблюдением за системой заказа, выполнения и реализации результатов, накоплением данных и информации, формированием учетных записей в базе данных. Он предполагает использование программы мониторинга, применение специальных показателей и критериев оценки, причем обязательно структурированных и совместимых на протяжении всего периода мониторинга. Полученные результаты могут быть представлены в виде диаграмм, графиков, таблиц и других форм представления аналитических данных, отражающих выводы об использовании результатов КНП.

Состав функциональных элементов системы мониторинга востребованности результатов КНП

Для реализации функций сбора, систематизации и анализа информации о востребованности результатов КНП система мониторинга должна включать следующие компоненты.

1. Информационная компонента, обеспечивающая сбор и структуризацию данных о результатах КНП, формализованное описание содержательной информации о результатах научных исследований, технологических разработках и инновационных проектах в тематической области КНП, организациях, использующих результаты исследований, патентах и лицензиях, полученных в результате исследований, размерах роялти, полученных правообладателями на результаты КНП, и иной информации. Информационная компонента может быть реализована в виде базы данных, в которую включены: организации, являющиеся исполнителями и соисполнителями КНП и потребителями их результатов; разработчики, производители, продавцы, социальные и финансовые институты, использующие и потенциально способные использовать результаты КНП; результаты интеллектуальной деятельности, созданные при выполнении КНП и находящиеся в хозяйственном обороте; ведомственные программы, программы регионального развития, в том числе реализуемые бизнес-сообществом, реализуемые с использованием результатов КНП, и их заказчики; другие элементы базы данных.

2. Лингвистическая компонента, обеспечивающая однозначность толкования участниками мониторинга востребованности результатов КНП предметов и явлений, и адекватность этих толкований взглядам научного сообщества. Лингвистическая компонента должна включать: терминологические справочники (гlossарий) основных понятий и терминов; классификаторы в области востребованности и уровня использования результатов КНП; предметный классификатор по тематическим направлениям КНП; классификатор реальной и потенциальной продукции, создаваемой на основе полученных результатов КНП; другие классификаторы, необходимые для четкой структуризации данных.

3. Программно-технологическая и телекоммуникационная компонента, обеспечивающая интеграцию программно-технических решений и информационно-телекоммуникационных сетей, входящих в систему мониторинга востребованности результатов, с учетом требования унификации используемых проектных решений и технологий организационно-технического сопровождения КНП. Программно-технологическая и телекоммуникационная компонента должна обеспечивать:

— интеграцию программно-технологических решений для доступа к информационным ресурсам разных типов и способов технологической поддержки;

- использование телекоммуникационных сетей;
- навигацию по интернет-порталам, ответственным за сбор, обработку и предоставление информации о востребованности результатов КНП, включая порталы организаций, ведущих научную, инновационную и научно-образовательную деятельность;
- навигацию и поиск по массиву всех предоставленных данных о востребованности результатов КНП;
- доступность информации о месте размещения данных и самих данных в случае наличия у пользователя соответствующей авторизации доступа;
- унификацию используемых проектных решений и технологий;
- формирование классификационного интернет-сервиса для автоматизированного перехода от разработанных к общепринятым классификаторам.

4. Аналитическая компонента, обеспечивающая обработку информации на основе параметризации заложенных в систему данных, т.е. возможность их обработки по различным наборам признаков. Аналитическая обработка должна обеспечивать решение следующих задач:

- объективную оценку эффективности реализации результатов выполненных исследований в рамках КНП;
- оценку эффективности расходования бюджетных средств на мероприятия по реализации результатов КНП;
- сравнительный анализ эффективности КНП по отдельным критериям востребованности их результатов;
- оценку эффективности информационного обеспечения мероприятий по реализации результатов КНП;
- выявление и анализ проблем развития научно-исследовательской сферы в тематической области КНП, в том числе на основе экспертных методов;
- прогнозирование результативности выполнения КНП;
- визуализацию анимационно-графической, аудио- и видеоинформации, а также картографических данных о ходе реализации проектов с помощью выносных мультимедийных комплексов, устанавливаемых на рабочих местах государственных заказчиков. Решение аналитических задач обеспечивается специальными технологиями аналитической обработки собираемой информации на основе как типовых решений, так и технологий искусственного интеллекта.

5. Компонента информационной безопасности, обеспечивающая защиту информации и поддерживающая ее инфраструктуру при случайных или преднамеренных воздействиях естественного или искусственного характера. Информационная безопасность системы обеспечивается за счет реализации многоуровневой системы безопасности и контроля, выполняющей следующие задачи:

- обеспечение защиты информации и контроля доступа к ней на всех этапах ее сбора, передачи, обработки, хранения и предоставления пользователю системы;
- обеспечение конфиденциальности и целостности информации;
- обеспечение защиты программных и технических средств, используемых для сбора, передачи и обработки информации от утечки и разрушающего воздействия.

Заключение

Предлагаемые мероприятия по мониторингу востребованности результатов крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития направлены на реализацию основных направлений государственной политики в области научно-технологического развития и мер по ее реализации, закрепленных в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, а именно: формирование эффективной системы взаимодействия науки, технологий и производства, повышение восприимчивости экономики и общества к новым технологиям, развитие наукоемкого предпринимательства [8].

Программно-технологическая реализация системы мониторинга востребованности результатов крупных научных проектов должна осуществляться на основе интеграции предлагаемых программно-технических и информационно-телекоммуникационных решений с учетом унификации используемых проектных решений и технологий организационно-технического сопровождения КНП.

Статья подготовлена к изданию при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания на 2025 г. № 075-00682-25-02.

Список литературы

1. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 № 145. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202402280003> (дата обращения: 05.03.2025).
2. Об утверждении правил предоставления из федерального бюджета грантов в форме субсидий на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития: постановление Правительства Российской Федерации от 27.12.2019 № 1902. URL: <http://static.government.ru/media/acts/files/1201912300101.pdf> (дата обращения: 05.03.2025).
3. О внесении изменений в правила предоставления из федерального бюджета грантов в форме субсидий на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития: постановление Правительства Российской Федерации от 14.08.2023 № 1333. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202308160018> (дата обращения: 05.03.2025).
4. Кузнецов С.А. Большой толковый словарь русского языка / авторская редакция. 2000. 1536 с. ISBN 5-7711-0015-3.
5. Порядок осуществления мониторинга реализации крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития и масштабных научных проектов мирового уровня: приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 29.11.2021 № 1109.
6. Изменения, которые вносятся в Порядок осуществления мониторинга реализации крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития и масштабных научных проектов мирового уровня, утвержденный приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 29.11.2021 № 1109. Утверждены приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 28.04.2022 № 388.
7. Экспертизу отправляют на рынок // Коммерсант. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5825628> (дата обращения: 05.03.2025).
8. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 28.02.2024 № 145. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202402280003> (дата обращения: 05.03.2025).

References

1. *O Strategii nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii: Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 28.02.2024 No. 145* [Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 28.02.2024 No. 145 On the Strategy of scientific and technological development of the Russian Federation]. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202402280003> (date of access: 05.03.2025).
2. *Ob utverzhdenii pravil predostavleniya iz federal'nogo byudzheta grantov v forme subsidey na provedenie krupnykh nauchnykh projektov po prioritetnym napravleniyam nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya: Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 27.12.2019 No. 1902* [On Approval of the Rules for granting grants from the federal budget in the form of subsidies to conduct major scientific projects in priority areas of scientific and technological development: Resolution of the Government of the Russian Federation of 27.12.2019 No. 1902]. Available at: <http://static.government.ru/media/acts/files/1201912300101.pdf> (date of access: 05.03.2025).
3. *O vnesenii izmeneniy v pravila predostavleniya iz federal'nogo byudzheta grantov v forme subsidey na provedenie krupnykh nauchnykh projektov po prioritetnym napravleniyam nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya:*

Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 14.08.2023 No. 1333 [On Amendments to the Rules for Granting Grants from the Federal Budget in the Form of Subsidies for Major Scientific Projects in Priority Areas of Scientific and Technological Development: Resolution of the Government of the Russian Federation No. 1333 of 14.08.2023]. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202308160018> (date of access: 05.03.2025).

4. Kuznecov S.A. (2000) *Bol'shoy tolkovyy slovar' russkogo yazyka. Avtorskaya redaktsiya* [Big explanatory dictionary of the Russian language. Author's edition]. 1536 p. ISBN 5-7711-0015-3.

5. *Poryadok osushchestvleniya monitoringa realizatsii krupnykh nauchnykh projektov po prioritetnym napravleniyam nauchno-tehnologicheskogo razvitiya i masshtabnykh nauchnykh projektov mirovogo urovnya: Prikaz Ministerstva nauki i vysshego obrazovaniya Rossiyskoy Federatsii ot 29.11.2021 No. 1109* [Procedure for monitoring the implementation of large-scale scientific projects in priority areas of scientific and technological development and large-scale world-class scientific projects. Order of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 1109 dated November 29, 2021].

6. *Izmeneniya, kotorye vnosyatsya v Poryadok osushchestvleniya monitoringa realizatsii krupnykh nauchnykh projektov po prioritetnym napravleniyam nauchno-tehnologicheskogo razvitiya i masshtabnykh nauchnykh projektov mirovogo urovnya, utverzhdenyy prikazom Ministerstva nauki i vysshego obrazovaniya Rossiyskoy Federatsii ot 29.11.2021 No. 1109 Utverzhdeny prikazom Ministerstva nauki i vysshego obrazovaniya Rossiyskoy Federatsii ot 28.04.2022 No. 388* [Amendments to the Procedure for monitoring the implementation of major scientific projects in priority areas of scientific and technological development and large-scale world-class scientific projects, approved by Order of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation of November 29, 2021 r. No. 1109. Approved by the Order of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation dated April 28, 2022. No. 388].

7. *Ekspertizu otpravlyayut na rynek* [Expertise is sent to the market] *Kommersant* [Kommersant]. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/5825628> (date of access: 05.03.2025).

8. *Strategiya nauchno-tehnologicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii. Utverzhdena Ukazom Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 28.02.2024 No. 145* [Strategy of scientific and technological development of the Russian Federation: approved by the Decree of the President of the Russian Federation from 28.02.2024 No. 145]. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202402280003> (date of access: 05.03.2025).

ПОТЕНЦИАЛ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ЭКСПЕРТИЗЫ НАУЧНЫХ ПРОЕКТОВ

С.П. Юркевичюс, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук, доц.,
jursp@extech.ru

Д.А. Вразнов, науч. сотр. Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН,
vda@iao.ru

Рецензент: Е.В. Ляпунцова, ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», д-р техн. наук, *lev7lev63@me.com*

Данный обзор посвящен перспективам внедрения методов искусственного интеллекта (ИИ) в области автоматизации процедур оценки качества научно-исследовательских проектов (НИР). Приводится декомпозиция стандартной системы оценки НИР, оценивается потенциал внедрения методов ИИ в каждом сегменте системы. Также рассматривается автоматизация оценки проектов согласно шкале уровня готовности технологии. К наиболее перспективным областям был отнесен этап экспертизы заявки за счет внедрения современных больших языковых моделей, способных облегчить работу экспертов по анализу текста на новизну, актуальность, плагиат.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, системы поддержки принятия решения, экспертиза научных проектов, системы оценки проектов.

THE POTENTIAL OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS FOR THE EXAMINATION OF SCIENTIFIC PROJECTS

S.P. Yurkevichyus, Head of Department, SRI FRCEC, Doctor of Engineering, Assistant Professor, *jursp@extech.ru*

D.A. Vrazhnov, Researcher, V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics RAS, Siberian Branch, *vda@iao.ru*

This review is devoted to the prospects for the introduction of artificial intelligence (AI) methods, in the field of automation of procedures for quality assessment of research projects (R&D). A decomposition of the standard system of R&D evaluation is given and the potential of AI methods implementation in each segment of the system is evaluated. The automation of project evaluation according to the technology readiness level scale is also considered. The most promising areas include the stage of the application examination, due to the introduction of modern large language models that can facilitate the work of experts in analyzing the text for novelty, relevance, and plagiarism.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, decision support systems, expertise of scientific projects, project evaluation systems.

Введение

В последнее время отмечается взрывная динамика развития как теоретических основ искусственного интеллекта (ИИ), так и областей его применения. Наиболее полно термин ИИ описывает совокупность методов и технологий в области компьютерных наук, позволяющих вычислительным машинам имитировать такие возможности человека, как рассуждать, принимать решения или решать проблемы [1, 2]. К современным областям применения ИИ относят компьютерное зрение и робототехнику [3], системы поддержки принятия решения

(СППР) [4], в том числе ИИ — агенты-консультанты (ChatGPT [5], DeepSeek [6]), позволяющие агрегировать, систематизировать и интерпретировать огромные массивы информации.

Важной особенностью создания ИИ-систем является наличие размеченных экспертом данных либо эвристических правил, позволяющих реализовать процесс обучения модели на базе ИИ. Поэтому согласно одной из классификаций ИИ выделяет модели, основанные на правилах или знаниях (экспертные системы), и модели на основе данных (машинное обучение) (рис. 1).

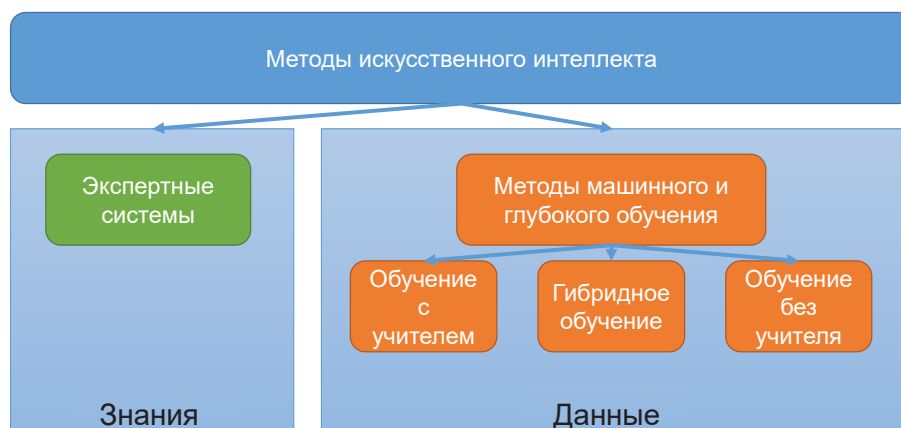


Рис. 1. Классификация методов ИИ

Экспертные системы широко применяются для решения формализованных задач с алгоритмизуемым решением. Примером таких систем являются СППР в медицине, основанные на протоколах и клинических рекомендациях [7]. Они не требуют значительных вычислительных мощностей, имеют небольшой набор оптимизируемых гиперпараметров.

Методы машинного обучения, включая глубокое обучение, позволяют строить модели данных со сложной структурой, обобщая известную информацию. Наиболее известными примерами являются большие языковые модели с миллиардами гиперпараметров и требующие использования дорогостоящих вычислительных кластеров для обучения моделей [8]. Следует отметить, что, несмотря на стремительный рост сфер применения ИИ, решение творческих задач с применением методов ИИ зачастую неудовлетворительно. Это связано с ограниченностью выборки и необходимостью извлечения семантики для оценки качества генерируемых идей [9, 10].

Оценка качества научных проектов — трудоемкая задача, которая сейчас решается с привлечением экспертов. Соответственно, внедрение методов ИИ в данную область является актуальным. В данной работе исследуются области вышеуказанной задачи, в которых целесообразно и возможно внедрение методов ИИ.

Возможные направления применения методов искусственного интеллекта для экспертизы научных проектов

В задаче научной экспертизы можно выделить два основных направления: экспертиза заявок научных проектов и экспертиза научных отчетов (рис. 2). Экспертиза заявок научных проектов в большей части требует проверки соответствия формальным требованиям, например количеству и качеству публикаций по теме проекта (часть научного задела), наличие опыта руководства проектами и достаточности материальной базы. В этой части оценки

научного проекта широко распространена практика экспертизы научного отчета на основе опросников/анкет с количественными оценками каждого критерия из списка. Итоговой оценкой отчета является взвешенная сумма баллов по критериям. Основной проблемой данного подхода является субъективность выбора соотношения баллов разделов опросника и, следовательно, невозможность существенно использовать экспертное мнение, основанное на опыте. Эту проблему гипотетически можно решить путем обучения алгоритма ИИ на выборке научных проектов, предварительно «размеченных» группой экспертов на набор классов, соответствующих «качеству» проекта, что позволит учесть более тонкие нюансы (признаки качества проекта) и повысить качество экспертизы новых проектов с применением методов ИИ.

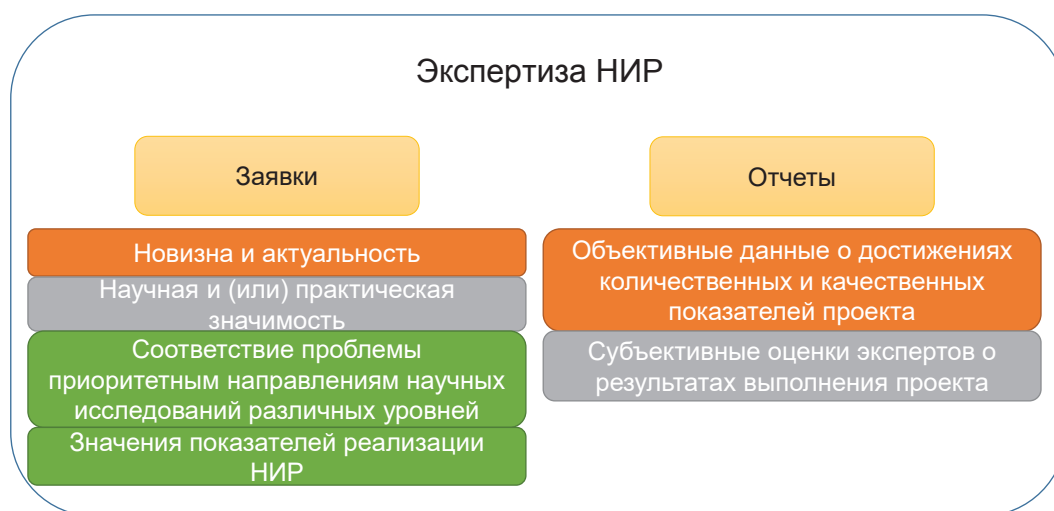


Рис. 2. Задачи научной экспертизы НИР

Оранжевым цветом выделены потенциальные области применения ИИ. Серым цветом — недоступные в настоящее время для решения методами ИИ. Зеленым цветом — имеющие готовое автоматизированное решение

К неформальным характеристикам проекта относятся новизна, актуальность, соответствие методов и подходов решаемым задачам и т.п. Одной из ключевых проблем в этой области является то, что потенциальный ИИ-агент на базе большой языковой модели должен обладать способностью осуществлять семантический анализ текста, то есть выделить смысл того, о чем авторы хотели сказать. ИИ-агенты обучаются на известной информации, и то, как они будут ее экстраполировать на неизвестную, остается открытым вопросом. Решение этой проблемы возможно с использованием интерпретируемых методов машинного обучения или проведения дополнительных исследований по надежности и адекватности заключений, полученных с использованием методов ИИ, работающих по принципу «черного ящика», к которым, в частности, относится большинство искусственных нейросетей. Для развития данной области в работе [11] предлагается общий фреймворк для агентов ИИ, основанный на принципах дивергентного и конвергентного мышления. В целом на текущий момент ни одна из современных больших языковых моделей не может на уровне человека понимать написанное. Тем не менее уже сейчас возможно привлечение ИИ-агентов к задачам выявления плагиата, проверки данных статистического анализа и других манипуляций с данными [12].

Другой сложностью экспертизы научного проекта или научного отчета является оценка его новизны. В узком смысле новизна трактуется как непохожесть на существующие тексты. Классические методы оценки схожести основаны на следующих метриках: косинусная (представляет собой косинус угла между двумя векторами в многомерном пространстве), tf-idf (Term Frequency-Inverse Document Frequency, учитывает частоту встречаемости слова в текстовом датасете), дивергенция Кульбака — Лейблера (статистическая мера измерения расстояния между вероятностными распределениями), ряд метрик для определения близости графов, а также метрики, используемые в методах кластеризации и классификации. Для обучения и валидации разрабатываемых моделей анализа текстов широко используется база TREC [13]. Этот датасет был разработан в рамках трехлетнего проекта по разработке методов анализа текстов, в частности оценки новизны и релевантности. Наилучшие достигнутые результаты — значение меры F1 (среднегармоническое между точностью и полнотой) в диапазоне 0,60–0,75, значения прецизионности и полноты 65–75 % [14]. В больших языковых моделях используются механизмы генерации семантических пространств на основе рекуррентных нейронных сетей [15], в частности с архитектурами автокодировщика (например, Universal Sentence Encoder, USE) [16], долговременной и кратковременной памятью (Long Short-Term Memory, LSTM) [17]. Для создания подобных моделей используются большие датасеты, такие как Wikipedia или Google News. Информация об аналогичных отечественных базах в открытом доступе отсутствует.

В работе [18] предлагается семантическая модель оценки новизны и актуальности на основе анализа групповых чатов, сохраненных во время «мозговых штурмов». Предлагаемая модель состоит из блока оценки релевантности, проработанности, новизны. Блок релевантности проводит удаление нерелевантных идей методами опорных векторов, вероятностными языковыми моделями [19]. Блок проработанности применяется для исключения полностью сформулированных идей, используя информацию о длине и связности текста. Блок новизны оценивает релевантные и непроработанные идеи по количеству обсуждений на текущий момент и по частоте встречаемости идеи в контекстном домене. Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения больших языковых моделей для оценки новизны и актуальности проектов.

При оценке новизны идеи важно соблюдать баланс между ней и полезностью. На практике исследователи столкнулись с проблемой генерации галлюцинаций и идей в жестких рамках (меморизация, запоминание). Проблема галлюцинации моделей заключается в создании контента, далекого от реальности. При меморизации модель не может выйти за рамки существующих ограничений и генерирует идеи с минимальными модификациями, не отвечающими критериям новизны.

Одним из текущих трендов развития тематик НИР в РФ стал акцент на прикладные технологические разработки. Для оценки зрелости технологических проектов применяется шкала уровней готовности технологии (УГТ) (англ. Technology Readiness Level, рис. 3) [20, 21].

Основными недостатками шкалы УГТ также являются ее субъективность и неоднозначность выбора заявленным уровнем. Этим обусловлена необходимость разработки инструментов независимой оценки уровня УГТ. Пилотные работы в данном направлении показали перспективность использования библиометрических индикаторов в качестве предикторов уровня готовности технологии [22, 23]. К последним авторы отнесли наличие венчурного капитала, рыночной оценки, лицензированных технологий, исследовательских проектов, клинических испытаний, научных публикаций, патентов, новостей и упоминаний в СМИ. Более того, учитывая комплексный характер показателей и нелинейный характер зависимостей между предикторами и целевой переменной, было предложено использовать модели машинного обучения для предсказания уровня УГТ (рис. 4).

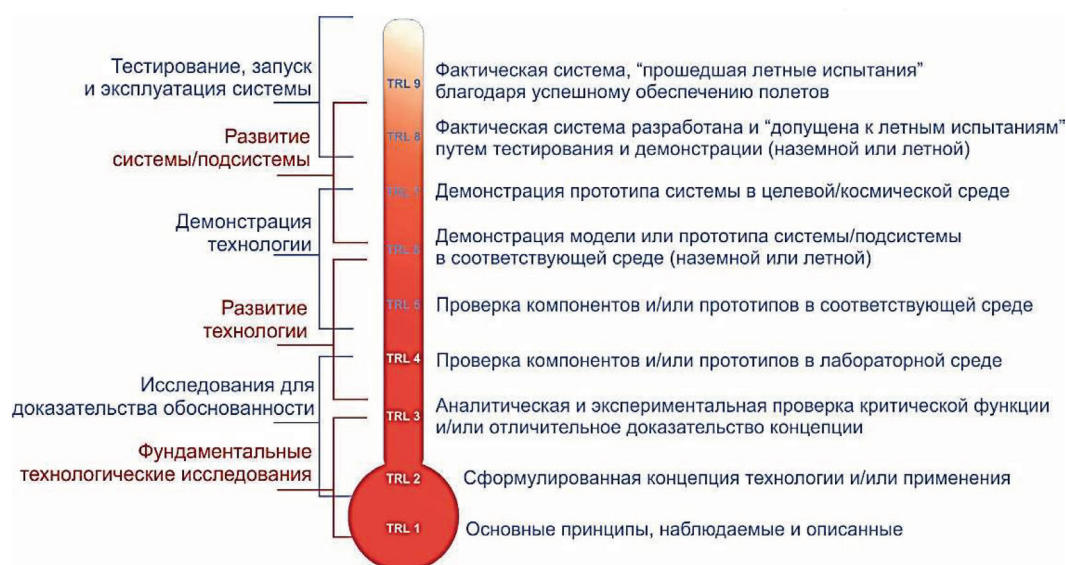


Рис. 3. Пример шкалы УГТ для авиакосмической отрасли [20]

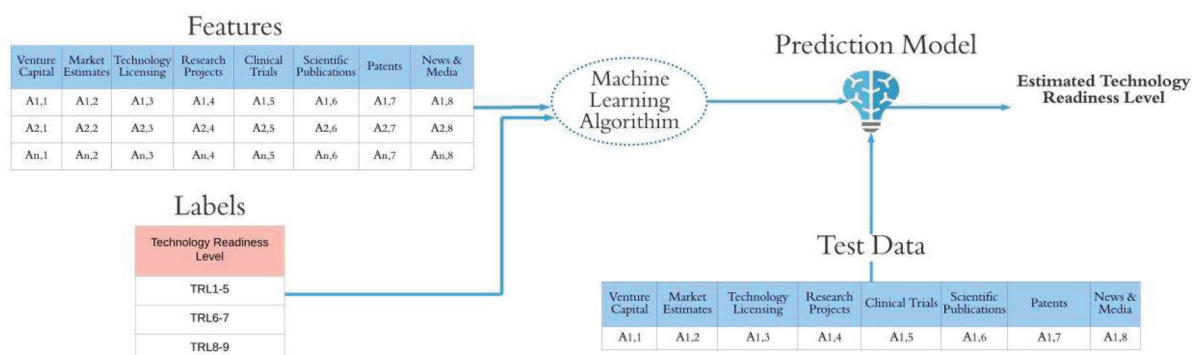


Рис. 4. Пример схемы применения модели машинного обучения для прогнозирования уровня технологической готовности [22]

Заметим, что вместо предсказания УГТ можно использовать методы машинного обучения для предсказания положения разрабатываемой технологии на кривой хайпа Гартнера.

Критерии соответствия проблемы приоритетным направлениям научных исследований, квалификация и опыт научного коллектива, использование ожидаемых результатов НИР на практике выражаются количественно, и их оценка не требует экспертизы человека-эксперта.

Заключение

В данной работе были рассмотрены основные этапы экспертизы научных проектов и научных отчетов. Проведенная декомпозиция на подзадачи и анализ литературы показали, что наиболее эффективной является автоматизация рутинных процедур на этапе экспертизы заявки. Это обусловлено большой долей субъективности оценок отчетного этапа и внедрения опросников с количественными показателями выполнения НИР, что не требует приме-

нения методов на базе ИИ. На этапе экспертизы заявок внедрение современных больших языковых моделей может существенно упростить работу экспертов в области анализа текста на новизну, актуальность, плагиат.

Статья подготовлена к изданию при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания на 2025 г. № 075-00682-25-02.

Список литературы

1. Helm J.M., et al. Machine learning and artificial intelligence: definitions, applications, and future directions // Current reviews in musculoskeletal medicine. 2020. Т. 13. С. 69–76.
2. Sheikh H., Prins C., Schrijvers E. Artificial intelligence: definition and background // Mission AI: The new system technology. Cham: Springer International Publishing, 2023. С. 15–41.
3. Murphy R.R. Introduction to AI robotics. MIT press, 2019.
4. Gupta S., et al. Artificial intelligence for decision support systems in the field of operations research: review and future scope of research // Annals of Operations Research. 2022. Т. 308. № 1. С. 215–274.
5. Kalla D., et al. Study and analysis of chat GPT and its impact on different fields of study // International journal of innovative science and research technology. 2023. Т. 8. №. 3.
6. Wu Z., et al. Deepseek-vl2: Mixture-of-experts vision-language models for advanced multimodal understanding // arXiv preprint arXiv:2412.10302. 2024.
7. Толмачев И.В. и др. Возможности и ограничения использования программных информационных устройств с искусственным интеллектом для диагностики и лечения заболеваний.
8. Minaee S., et al. Large language models: A survey // arXiv preprint arXiv:2402.06196. 2024.
9. Sarathy V., Scheutz M. Macgyver problems: Ai challenges for testing resourcefulness and creativity // Advances in Cognitive Systems. 2018. Т. 6. С. 31–44.
10. Runco M.A. AI can only produce artificial creativity // Journal of Creativity. 2023. Т. 33. № 3. С. 100063.
11. Mukherjee A., Chang H. The creative frontier of generative ai: Managing the novelty-usefulness tradeoff // arXiv preprint arXiv:2306.03601. 2023.
12. Molnár G., József C. AI Based Plagiarism Checking: Ease of use and applicable system for teachers to find similarities in students' assessments // 2022 IEEE 5th International Conference and Workshop Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO-EPE). IEEE, 2022. С. 000187–000192.
13. Soboroff I., Harman D. Novelty detection: the trec experience // Proceedings of human language technology conference and conference on empirical methods in natural language processing. 2005. С. 105–112.
14. Doboli S., et al. A cognitive inspired method for assessing novelty of short-text ideas // 2020 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). IEEE, 2020. С. 1–8.
15. K. Cho, B. van Merriënboer, C. Gulcehre, D. Bahdanau, F. Bougares, H. Schwenk, and Y. Bengio. Learning phrase representations using RNN encoder-decoder for statistical machine translation, in Proc. of 2014 Conf. on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP), Doha, Qatar, Oct. 2014. P. 1724–1734.
16. Cer D., et al. Universal sentence encoder for English // Proceedings of the 2018 conference on empirical methods in natural language processing: system demonstrations. 2018. С. 169–174.
17. Tai K.S., Socher R., Manning C.D. Improved semantic representations from tree-structured long short-term memory networks // arXiv preprint arXiv:1503.00075. 2015.
18. Fisher D., et al. A real-time semantic model for relevance and novelty detection from group messages // 2022 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). IEEE, 2022. С. 01–08.
19. Zhai C.X., Lafferty J. Two-stage language models for information retrieval // Proceedings of the 25th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. 2002. С. 49–56.

20. Анохов И.В. Шкала уровня технологической готовности УГТ и перспективы ее модификации // Стратегии бизнеса. 2022. Т. 10. № 11. С. 289–294.
21. Hirshorn S. NASA System Engineering Handbook SP-2016-6105 Rev2 // Washington, DC. 2016.
22. Faide S. Assessing Bibliometrics for the Automation of Technology Readiness Level Assessments. University of Toronto (Canada), 2021.
23. Dastoor J., et al. A Bibliometric Approach to Characterizing Technology Readiness Levels Using Machine Learning // AIAA SCITECH 2023 Forum. 2023. С. 2686.

References

1. Helm J.M., et al. (2020) Machine learning and artificial intelligence: definitions, applications, and future directions. Current reviews in musculoskeletal medicine. T. 13. P. 69–76.
2. Sheikh H., Prins C., Schrijvers E. (2023) Artificial intelligence: definition and background. Mission AI: The new system technology. Cham: Springer International Publishing. P. 15–41.
3. Murphy R.R. (2019) Introduction to AI robotics. MIT press.
4. Gupta S., et al. (2022) Artificial intelligence for decision support systems in the field of operations research: review and future scope of research. Annals of Operations Research. T. 308. No. 1. P. 215–274.
5. Kalla D., et al. (2023) Study and analysis of chat GPT and its impact on different fields of study. International journal of innovative science and research technology. T. 8. №. 3.
6. Wu Z., et al. (2024) Deepseek-v12: Mixture-of-experts vision-language models for advanced multimodal understanding. arXiv preprint arXiv:2412.10302.
7. Tolmachev I.V. et al. *Vozmozhnosti i ogranicheniya ispol'zovaniya programmnykh informatsionnykh ustroystv s iskusstvennym intellektom dlya diagnostiki i lecheniya zabolevaniy* [Opportunities and limitations of using software-based information devices with artificial intelligence for diagnosing and treating diseases].
8. Minaee S., et al. (2024) Large language models: A survey. arXiv preprint arXiv:2402.06196.
9. Sarathy V., Scheutz M. (2018) Macgyver problems: Ai challenges for testing resourcefulness and creativity. Advances in Cognitive Systems. T. 6. P. 31–44.
10. Runco M.A. (2023) AI can only produce artificial creativity. Journal of Creativity. T. 33. No. 3. P. 100063.
11. Mukherjee A., Chang H. (2023) The creative frontier of generative ai: Managing the novelty-usefulness tradeoff. arXiv preprint arXiv:2306.03601.
12. Molnár G., József C. (2022) AI Based Plagiarism Checking: Ease of use and applicable system for teachers to find similarities in students' assessments. IEEE 5th International Conference and Workshop Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO-EPE). IEEE. P. 000187–000192.
13. Soboroff I., Harman D. (2005) Novelty detection: the trec experience. Proceedings of human language technology conference and conference on empirical methods in natural language processing. P. 105–112.
14. Doboli S., et al. (2020) A cognitive inspired method for assessing novelty of short-text ideas. International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). IEEE. P. 1–8.
15. K. Cho, B. van Merriënboer, C. Gulcehre, D. Bahdanau, F. Bougares, H. Schwenk, and Y. Bengio (2014) Learning phrase representations using RNN encoder-decoder for statistical machine translation, in Proc. of 2014 Conf. on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP), Doha, Qatar, Oct. 2014, P. 1724–1734.
16. Cer D., et al. (2018) Universal sentence encoder for English. Proceedings of the 2018 conference on empirical methods in natural language processing: system demonstrations. P. 169–174.
17. Tai K.S., Socher R., Manning C.D. (2015) Improved semantic representations from tree-structured long short-term memory networks. arXiv preprint arXiv:1503.00075.
18. Fisher D., et al. (2022) A real-time semantic model for relevance and novelty detection from group messages. International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). IEEE. P. 01–08.
19. Zhai C.X., Lafferty J. (2002) Two-stage language models for information retrieval. Proceedings of the 25th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. P. 49–56.

20. Anokhov I.V. *Shkala urovnya tekhnologicheskoy gotovnosti UGT i perspektivy ee modifikatsii* [Scale of the level of technological readiness of Technology Readiness Level and prospects of its modification] *Strategii biznesa* [Business strategies]. 2022. T. 10. № 11. P. 289–294.
21. Hirshorn S. (2016) NASA System Engineering Handbook SP-2016-6105 Rev2. Washington, DC.
22. Faidi S. (2021) Assessing Bibliometrics for the Automation of Technology Readiness Level Assessments. University of Toronto (Canada).
23. Dastoor J., et al. (2023) A Bibliometric Approach to Characterizing Technology Readiness Levels Using Machine Learning. AIAA SCITECH 2023 Forum. P. 2686.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ: АКТУАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

М.В. Сергеев, гл. аналитик ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук, sergeev@extech.ru

И.М. Сергеев, ст. аналитик ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, imsergeev@extech.ru

Рецензент: Е.В. Ляпунцова, ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», д-р техн. наук, lev7lev63@me.com

В статье рассмотрены возможности применения больших языковых моделей (LLM¹) искусственного интеллекта (ИИ) к решению задач в сфере научно-технической экспертизы. Отмечена актуальность использования LLM при анализе больших объемов текстовых документов, описаны методические подходы к развертыванию открытых LLM-моделей на локальной инфраструктуре организации с учетом требований информационной безопасности. Проанализированы актуальные возможности внедрения локальных LLM в работу научно-экспертных организаций, даются рекомендации по безопасному и эффективному использованию этих технологий.

Ключевые слова: научно-техническая экспертиза, технологии ИИ, текстовые документы, локальные LLM.

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE LANGUAGE MODELS FOR SCIENTIFIC AND TECHNICAL EXPERTISE: CURRENT CAPABILITIES AND PROSPECTS

M.V. Sergeev, Chief Analyst, SRI FRCEC, Doctor of Engineering, sergeev@extech.ru

I.M. Sergeev, Senior Analyst, SRI FRCEC, imsergeev@extech.ru

The article discusses the possibilities of applying large language models (LLM) of artificial intelligence (AI) to solving problems in the field of scientific and technical expertise. The relevance of using LLM in the analysis of large volumes of text documents is noted, methodological approaches to deploying open LLM models on the organization's local infrastructure, taking into account information security requirements, are described. The current possibilities of introducing local LLM into the work of scientific and expert organizations are analyzed, and recommendations are given on the safe and effective use of these technologies.

Keywords: scientific and technical expertise, AI technologies, textual documents, local LLMs.

Дисклеймер: упомянутые в тексте названия моделей ИИ не являются рекламой, авторы делятся личным опытом работы с конкретными моделями и литературными данными, которые находятся в открытом доступе на момент написания статьи. Материал предназначен для иллюстрации возможностей моделей и технологий и не является юридической консультацией или одобрением.

¹ Перечень использованных в статье терминов — см. в конце текста перед списком литературы.

Введение

В последние годы искусственный интеллект (ИИ) достиг качественно нового этапа своего развития, превратившись из экспериментальной технологии в повседневный инструмент, активно внедряемый в различные сферы деятельности. Еще два с половиной года назад взаимодействие с таким специализированным программным обеспечением, которое теперь принято называть ИИ, было уделом достаточно узкого круга специалистов, но все коренным образом изменилось в конце 2022 г., с появлением чата GPT фирмы OpenAI [1] в открытом доступе. Теперь пользователь², обладающий смартфоном или компьютером с выходом в Интернет, может вступить в диалог с ИИ и получить необходимую ему информацию. И уже в середине 2023 г. число ежемесячных обращений к этому чату превысило 300 млн.

С распространением коммерческих решений от технологических компаний LLM используются в разных областях деятельности. Список ниш весьма впечатляет: создание изображений, текстов, музыки, видео, а также успехи в таких сферах, как электронная коммерция, маркетинг и реклама, дизайн, образование и онлайн-курсы, здравоохранение и фитнес, недвижимость, фриланс и креативные услуги, логистика и доставка, туризм и финансовые услуги [2].

Далее в своем рассмотрении мы ограничимся только одним аспектом применения ИИ – достижениями в обработке текстовых документов (включая таблицы, графики и другие изображения), поскольку документы составляют преобладающую долю информации, которую обрабатывают в процессе научно-технической экспертизы. Здесь главенствующую роль играют большие языковые модели (LLM), построенные на архитектуре GPT (Generative Pre-trained Transformer), предварительно обученные на больших объемах текстовых данных.

О задачах, решаемых научно-технической экспертизой

Проблематика, требующая разрешения с привлечением научно-технической экспертизы, как отмечалось нами ранее [3], содержит задачи, различные как по масштабам и объектам, так и по целям экспертного анализа. Среди них, в частности:

- научно-технологическое развитие экономики;
- бюджетное финансирование научных исследований;
- конкурсное сопровождение грантовой поддержки науки.

Научно-техническая экспертиза по своей сути представляет собой высокоинтеллектуальную деятельность, сопряженную с анализом значительных объемов текстовой информации. К числу обрабатываемых документов относятся, в частности, заявки на получение грантов и участие в конкурсах, отчеты о выполнении научно-исследовательских работ, патентные описания, а также различные виды нормативно-технической документации.

При соблюдении общих методологических подходов к проведению экспертизы подобного рода задач в ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ выработаны конкретные нормативы и правила, обеспечивающие системность организации экспертной работы [4]. Например, при проведении конкурсных процедур необходим объективный и всесторонний анализ заявок, что, в свою очередь, способствует целесообразному распределению конкурсного финансирования.

В табл. 1 представлены ключевые критерии, которые, как правило, входят в структуру экспертного заключения и служат основой для принятия решений о поддержке исследовательских инициатив.

² Односторонние санкции фирмы OpenAI против жителей России и Беларуси опытным пользователям не помеха.

Таблица 1

Критерии оценивания заявок на разработку научно-исследовательских проектов

Критерий	Предмет оценки
Анализ соответствия заявленного проекта целям конкурса	Оценка того, насколько проект соответствует заявленным целям и задачам конкурса, а также приоритетам в области науки и технологий
Оценка научной новизны и оригинальности	Анализ новизны предложенной идеи или технологии, определение, какой вклад проект вносит в развитие соответствующей области науки и технологий
Техническая осуществимость	Оценка возможности реализации проекта с технической точки зрения, включая доступность технологий, материалов и оборудования
Оценка научной и/или технической базы	Анализ научных и технических ресурсов, имеющихся у заявителя, включая квалификацию команды, наличие инфраструктуры и опыт решения аналогичных проектов
Экономическая целесообразность	Оценка бюджета проекта, включая его обоснованность, распределение средств и потенциальную экономическую эффективность
Оценка рисков	Выявление и анализ возможных рисков, связанных с реализацией проекта, а также наличие мер по их минимизации
Влияние на социально-экономическое развитие	Оценка потенциального вклада проекта в развитие региона, отрасли или общества в целом
Сравнительный анализ	Сравнение заявки с другими проектами, представленными на конкурс, для определения относительных преимуществ и недостатков
Рекомендации по улучшению	Формулирование рекомендаций для заявителя по улучшению проекта в случае выявления недостатков

Источник: составлено авторами на основе данных [4].

В ходе подобного анализа эксперту — специалисту высокой квалификации приходится проводить целый ряд рутинных операций типа валидации, не связанных напрямую с аналитической работой, но без которых подобное исследование не может обходиться.

Валидация заявки в контексте конкурсной документации включает несколько ключевых параметров проверки, которые помогают удостовериться, что поданная заявка соответствует установленным требованиям и критериям (табл. 2).

Изложенное позволяет утверждать, что проведение всесторонней и добросовестной экспертной оценки требует от специалиста значительных временных и интеллектуальных затрат. Наряду с аналитическими функциями эксперту приходится выполнять целый ряд вспомогательных операций, таких как проверка комплектности и формата документации, извлечение релевантных фактов и показателей из текстов, сопоставление содержимого заявок с установленными конкурсными критериями, а также формирование сводных таблиц и итоговых отчетов. Несмотря на важность этих действий для обеспечения надлежащего качества экспертизы, сами по себе они не предполагают глубоких предметных знаний и носят, по сути, рутинный характер. Именно в этой области возникают значительные резервы для автоматизации: современные инструменты ИИ, в частности большие языковые модели, обладают необходимым потенциалом для решения значительной части подобных задач.

Таблица 2

Основные параметры анализа заявки в процессе валидации

Параметр	Предмет проверки
Соответствие форме заявки	Проверяется, заполнены ли все необходимые поля, а также соблюден ли установленный формат подачи (например, наличие подписей, печатей и т.д.)
Соответствие требованиям документации	Анализируется, соответствует ли содержание заявки требованиям, указанным в конкурсной документации, таким как: – квалификационные требования к участникам (опыт, лицензии, сертификаты и т.д.); – технические требования к предлагаемым товарам или услугам
Полнота и достоверность информации	Оценивается, полно ли представлена информация и соответствует ли она действительности (например, наличие необходимых документов, финансовые показатели и т.д.)
Сроки подачи	Проверяется, была ли заявка подана в установленный срок
Критерии оценки	Анализируются соответствие заявки критериям оценки, указанным в документации, наличие всех необходимых материалов для их оценки
Условия участия	Проверка на выполнение условий, указанных в документации (например, отсутствие задолженности, соблюдение антикоррупционных норм и т.д.)
Финансовая состоятельность	Анализ финансовых документов для подтверждения способности участника выполнить условия контракта
Правовые аспекты	Проверка на наличие юридических ограничений для участия в конкурсе (например, наличие судебных разбирательств)

Источник: составлено авторами.

Специфика информации, которая содержится в документах, подлежащих экспертному анализу в научной и научно-технической сферах, состоит в том, что она носит закрытый характер (патенты, ноу-хау, персональные данные, коммерческие тайны, государственные секреты).

Утечка подобных «чувствительных» данных может привести к финансовым потерям, репутационным рискам или даже к правовым последствиям как для экспертной организации, так и для конкретных экспертов, обязанных соблюдать профессиональную тайну, закрепленную законодательством (например, Федеральный закон от 27.07.2006 № 152 «О персональных данных»). И даже при отсутствии прямых юридических ограничений эксперт несет моральную ответственность за защиту информации, доверенной ему заказчиком, поскольку, к примеру, утечка данных о перспективной разработке может позволить конкурентам скопировать технологии.

Таким образом, применение ИИ в научно-технической экспертизе представляется не только перспективным, но и практически целесообразным. Использование LLM может существенно ускорить обработку текстовых и графических материалов, повысить объективность и воспроизводимость оценочных процедур, а также снизить нагрузку на экспертов за счет автоматизации этапов предварительного анализа. Однако следует учитывать специфику экспертной деятельности, предъявляющую особые требования к конфиденциальности обрабатываемой информации и строгому соответствию формируемых выводов исходным данным.

Возможности и ограничения LLM

В течение последних двух лет LLM продемонстрировали значительный прогресс в области обработки текстовой информации и стали важнейшим инструментом анализа, извлечения и структурирования содержательных элементов из обширных массивов документов. Благодаря своей способности обобщать и систематизировать данные, LLM находят применение в самых различных сферах: от автоматизированной обработки юридических и технических текстов до анализа научных публикаций и подготовки кратких аннотированных обзоров. Эти функции особенно востребованы в ситуациях, когда специалисту необходимо в сжатые сроки ознакомиться с большим объемом информации и принять обоснованные решения на ее основе.

Определяющим аспектом работы с LLM является промпт-инжиниринг — навык формулирования запросов к модели для получения наиболее точных и релевантных ответов. Анализ результативности диалогов с моделями ИИ показал, что, несмотря на имеющийся прогресс в развитии ИТ-технологий, работает старый программистский принцип: «Что в компьютер заложишь — то и получишь!». Например, на общий и неопределенный запрос: «Проанализируй документ» — модель может сформировать не менее общий ответ: «Документ соответствует требованиям». Но формулировка запроса в более конкретной форме: «Составь перечень рисков и их причин в этом договоре» — позволяет получить развернутый, структурированный и содержательно насыщенный результат, отражающий как сами риски, так и их возможные источники.

Следует отметить, что за прошедшие два года промпт-инжиниринг превратился в самостоятельное направление, охватывающее разнообразные техники взаимодействия с LLM. На рис. 1 представлен перечень различных подходов, применяемых в промпт-инжиниринге, которые позволяют достичь высокой степени релевантности ответов LLM на запросы пользователя.

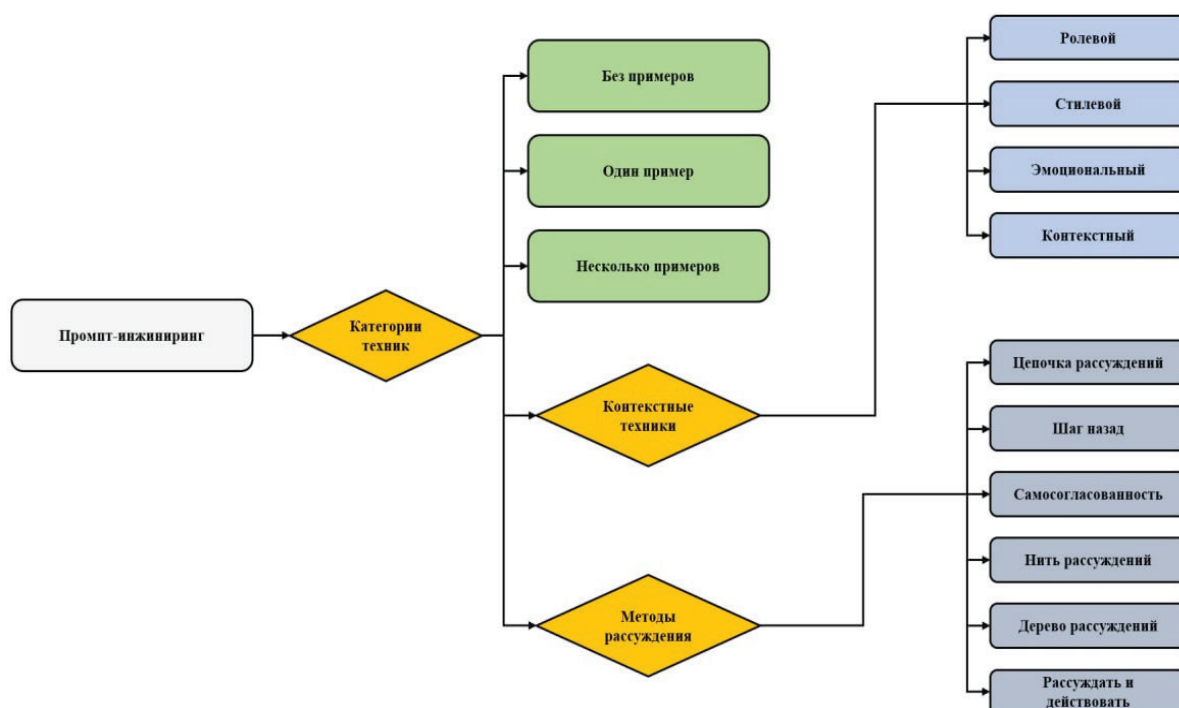


Рис. 1. Схема техник промпт-инжиниринга

Однако навык правильного формулирования запроса — не единственное, что определяет особенности общения с современными LLM [5–7]. Существенным ограничением выступает их закрытый (проприетарный) характер: исходные коды, архитектурные особенности и обучающие датасеты этих моделей недоступны для широкой исследовательской и профессиональной аудитории. Это означает, что пользователи полностью зависят от разработчиков в вопросах обновления, настройки, расширения функционала и обеспечения совместимости с внутренними системами.

Но для задач научно-технической экспертизы более принципиально то, что для получения достоверных и точных ответов LLM требуют «погружения в контекст», т.е. учета специфики предметной области, терминологии и логики рассуждения, характерной для конкретной задачи. Без такого контекстуального встраивания модель, как правило, демонстрирует поверхностные, обобщенные или даже искаженные результаты. Это означает, что проприетарная модель должна быть «настроена» на конкретную задачу, иначе говоря, требуется передача «чувствительных данных» (других в экспертизе, как показано выше, не бывает!) «в чужие руки», что неприемлемо для экспертной организации, поскольку одна из базовых предпосылок работы с проектной документацией — это строгий режим информационной безопасности.

Использование облачных сервисов, предлагаемых коммерческими провайдерами, также не позволяет гарантировать сохранность передаваемой информации: все данные — от пользовательских запросов до загружаемых документов — будут выходить за пределы внутреннего контура организации и обрабатываться на внешних серверах.

Альтернативой использованию проприетарных языковых моделей становится внедрение локальных LLM с открытым исходным кодом (open-source models), развертываемых непосредственно на вычислительной инфраструктуре самой организации. В последние годы открытое сообщество представило ряд моделей, сопоставимых по качеству с ведущими коммерческими системами. Среди них — семейство LLaMA [7] от компании Meta³ (США) (включая версии LLaMA 2 и LLaMA 3), французские модели Mistral (с числом параметров 7 млрд и 16 млрд), китайская DeepSeek LLM (7 млрд и 67 млрд) [8] и др. Доступность архитектурных описаний и исходного кода обеспечивает высокую гибкость: организации получают возможность модифицировать модель под собственные задачи, а также интегрировать дополнительные компоненты и модули.

Главное преимущество open-source LLM заключается в возможности их локального развертывания, что гарантирует полный контроль над средой исполнения и сохранность обрабатываемых данных. Все операции осуществляются внутри защищенного информационного контура, исключая риски несанкционированного доступа или утечек информации. Более того, автономный характер таких решений устраняет зависимость от интернет-соединения и внешних связей, повышая надежность и отказоустойчивость систем. С экономической точки зрения, использование локальных моделей также может оказаться более целесообразным: отсутствуют затраты на подписки на облачные сервисы и на оплату запросов к удаленным ресурсам. Совокупность этих факторов делает open-source LLM особенно привлекательными для применения в научно-экспертной среде, где критически важны безопасность, адаптируемость и экономическая эффективность.

Текущие тренды в развитии искусственного интеллекта отмечают переход от громоздких, ресурсоемких языковых моделей к более компактным и эффективным архитектурам. Компактные языковые модели (SLM), обладая меньшими требованиями к вычислительным ресурсам и энергоемкости, обеспечивают возможность их внедрения непосредственно на пользовательских устройствах и в ограниченных инфраструктурах. SLM-модели становятся

³ Meta — на территории России компания признана экстремистской организацией.

определяющим элементом нового этапа технологической революции, делая ИИ более устойчивым, этичным и управляемым. Некоторые SLM-модели, такие как Olmo 2 1B⁴ с размером 1 млрд параметров, демонстрируют превосходство над LLM-моделями от крупных компаний в тестах на арифметические способности и фактическую точность. Модель Olmo 2 1B может эффективно работать на стандартных ноутбуках и даже на мобильных устройствах, что делает ее доступной для широкого круга пользователей [9]. Подобная децентрализация ИИ снижает барьеры доступа к технологиям, ускоряет адаптацию и персонализацию решений и способствует демократизации ИИ — аналогично тому, как распространение персональных компьютеров в прошлом радикально трансформировало цифровую среду.

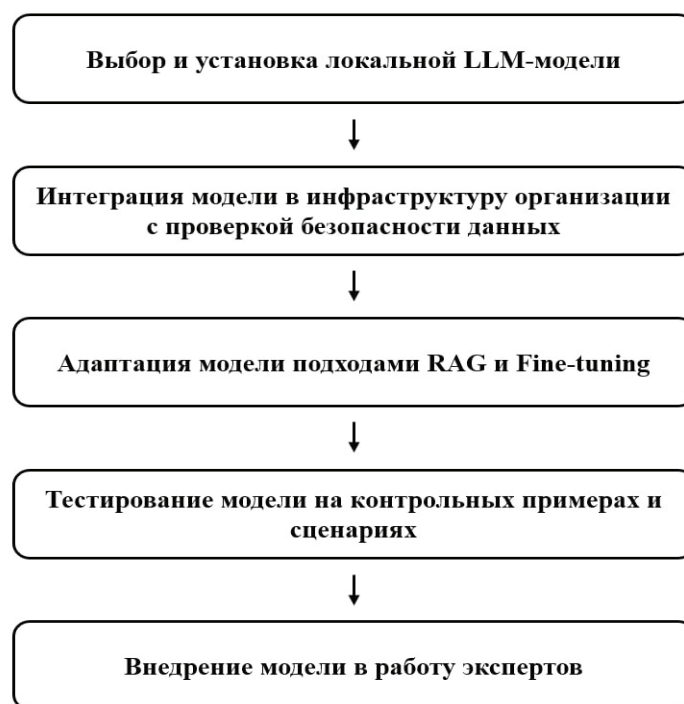


Рис. 2. Этапы развертывания локальной LLM-модели в инфраструктуре организации

Развертывание локальной LLM-модели

Процесс установки малой модели LLM может включать 5 этапов, изображенных на рис. 2.

На начальном этапе осуществляется выбор модели, подходящей по необходимым для организации характеристикам (качество, требуемые вычислительные ресурсы, поддержка русского языка и т.д.). Среди популярных open-source моделей, доступных на данный момент, можно отметить LLaMA 2, LLaMA 3, Mistral 7B, XGen-8B, RuGPT-3 13B (Сбербанк) и другие — выбор зависит от конкретных задач и доступных технических ресурсов [10].

Далее модель развертывается в локальной среде. Существуют готовые инструменты, упрощающие этот процесс [11]: например, LM Studio (приложение для загрузки и запуска моделей), утилита командной строки Ollama, проекты типа LocalAI, Text-Generation-WebUI и др. Они позволяют запустить языковую модель в несколько шагов, зачастую используя технологии контейнеризации (Docker) для удобства развертывания. Аппаратные требования при

⁴ Буквой В в обозначении типа модели принято указывать количество параметров модели в миллиардах.

этом зависят от размера модели: небольшие модели (до 7–13 млрд параметров) могут работать на современных персональных компьютерах (необходимо как минимум 16+ ГБ оперативной памяти, при наличии видеопамати от 24 ГБ обработка данных ускоряется), более крупные (30–70 млрд параметров) требуют рабочих станций с высокопроизводительными графическими картами или развертывания на серверном оборудовании. В некоторых случаях применяют сжатие моделей (quantization), чтобы уменьшить объем занимаемой памяти ценой небольшого снижения точности.

После установки и запуска модель интегрируется в инфраструктуру организации — важно убедиться, что она функционирует в изолированном контуре, соответствующем политике информационной безопасности организации (без доступа к внешним сетям, с шифрованием хранимых данных и т. п.).

Следующий этап — адаптация модели к предметной области экспертизы. Базовые (pre-trained) LLM, обученные на общих данных, не обладают специфическими знаниями, необходимыми для высокоточных ответов по узкой тематике. Важно отметить, что большинство текущих LLM-моделей не генерируют новых знаний, а оперируют только той информацией, которую «видели» при обучении. Если в исходном датасете не было сведений, скажем, о специфических показателях определенной технологии, то и ответ LLM на экспертный вопрос без дополнительной помощи будет неопределенным или ошибочным. Для решения этой проблемы применяются два подхода [12, 13] (которые можно использовать и совместно):

1) Retrieval-Augmented Generation (RAG) — механизм, при котором при каждом запросе к LLM выполняется поиск по внешней базе знаний (корпоративному хранилищу документов), и найденные релевантные тексты подставляются в подсказку модели;

2) Fine-tuning (дообучение) — дополнительное обучение модели на накопленных данных организации, включая архив экспертиз, отчеты и т. п.

В первом случае модель каждый раз получает актуальный контекст, в котором она сама не была изначально обучена, и за счет этого формирует более точные и фактически обоснованные ответы. Во втором случае происходит трансформация внутренних параметров модели под специфическую задачу за счет многократного прогона примеров вопросов-ответов из требуемой области (доучивание на отраслевом датасете). Fine-tuning позволяет «встроить» знания из специализированной области в модель, зафиксировав их на долгосрочной основе. Комбинация подходов (дообученная модель + RAG) считается наиболее мощным решением для достижения одновременно высокой точности и широкого охвата знаний.

Для реализации подхода RAG в условиях экспертной организации необходимо иметь систему управления базой знаний — электронный архив документов, по которому будет выполняться поиск. Это могут быть как простые утилиты (к примеру, скрипт, индексирующий папку с файлами PDF/DOCX и выполняющий поиск по ключевым словам, или семантический поиск), так и специализированные платформы (например, Haystack, Milvus, ChromaDB и др., позволяющие строить вопросы к базе знаний на естественном языке).

В свою очередь, Fine-tuning моделей требует подготовки размеченных данных (пар «вопрос — правильный ответ» по тематике экспертиз) и использования фреймворков глубокого обучения (по типу HuggingFace Transformers, PyTorch Lightning и т. п.) для обновления весов модели. В 2023 г. появились удобные средства для параметрического дообучения LLM с относительно малыми затратами ресурсов, например метод LoRA (Low-Rank Adaptation), позволяющие осуществлять fine-tuning больших моделей на одной-двух GPU за приемлемое время.

Перед вводом модели в эксплуатацию архитектуры организации крайне важно провести ее тестирование на контрольных примерах и убедиться, что ответы соответствуют ожидаемым. В методическом плане необходимо разработать регламент взаимодействия экспертов с LLM. Следует также учитывать, что даже после адаптации знаний LLM остается вероят-

ностной моделью, порой склонной к «галлюцинациям» — генерации правдоподобного, но не имеющего к действительности содержания. По данным исследований, современные LLM могут выдавать некорректные факты или ссылки в значительной доле случаев, особенно при выходе за пределы изученных данных [14]. Именно поэтому рекомендации ИИ должны проходить стадию валидации экспертом, прежде чем использоваться в финальных выводах экспертного заключения.

В ходе тестирования также стоит настроить систему запретов и фильтров (например, отключить или ограничить функции, ненужные экспертизе: генерацию программного кода, выполнение внешних запросов и т.д., если таковые имеются в модели). Для дополнительного повышения надежности можно использовать модульные решения: например, отдельный скрипт для проверки фактов (сопоставление ответа LLM с базой знаний) или несколько разных моделей для одних и тех же задач с последующим сравнением ответов модели. Также для удобства использования модели экспертами представляется важным разработать функциональный дизайн рабочей программы.

Предложенная методика включает полный цикл работ: от выбора и локального развертывания LLM-модели до ее донастройки и безопасной интеграции в процессы экспертизы.

Метод RAG позволяет модели встраивать в процесс генерации текстов элементы внешнего поиска и семантического сопоставления. В контексте экспертных задач это означает, что модель способна при обработке текста автоматически обращаться к нормативным документам, внутренним базам знаний и архивам, тем самым обеспечивая контекстуально точные и обоснованные ответы.

Технология Fine-tuning позволяет адаптировать поведение модели к требованиям конкретной предметной области: стилю, терминологическому полю и формату представления информации. Даже модели с относительно небольшим числом параметров демонстрируют высокую релевантность при условии корректной настройки на прикладные задачи отраслевой экспертизы. Таким образом, после дообучения на базе внутреннего массива документов и архивов организация получает инструмент, способный в сжатые сроки анализировать большие объемы текста, формировать структурированные таблицы соответствий и выдавать релевантные рекомендации. Это обеспечивает экономию времени эксперта, а также способствует стандартизации и воспроизводимости экспертных процедур.

Обсуждение

Несмотря на впечатляющие успехи ИИ, существующие LLM не лишены недостатков, которые особенно критичны в экспертной деятельности. Во-первых, как уже упоминалось, модель не генерирует новых знаний, а лишь комбинирует уже известную ей информацию. Это означает, что LLM не заменит полностью эксперта: она не способна сделать научное открытие или интуитивный вывод за пределами имеющихся данных. Роль модели — ускорить рутинные процессы, предоставить аналитику «черновой материал» для итоговых выводов, но не более. Во-вторых, остается проблема галлюцинаций и достоверности ответов. LLM может предъявить уверенно написанный текст, который выглядит правдоподобно, но не соответствует реальным фактам. В экспертной работе это недопустимо — ошибки ИИ могут привести к серьезным последствиям (неправильная оценка проекта, неверные рекомендации). Поэтому необходима многоуровневая система контроля качества ответов: автоматическое сопоставление с базой знаний, выявление потенциально выдуманных фактов, ручная проверка основных выводов. Только при условии такой проверки LLM может использоваться как вспомогательный инструмент.

Одним из существенных ограничений при внедрении LLM в практику экспертной деятельности являются высокие аппаратные и ресурсные требования. Крупные модели предъявляют значительные требования к вычислительным мощностям, особенно на этапах дообучения и адаптации к специфике задач. Не каждая организация располагает возможностями

инвестировать в специализированные серверы и соответствующую инфраструктуру. Частично данную проблему можно смягчить за счет применения методов оптимизации, таких как квантизация, сжатие модели или гибридные схемы хранения параметров, а также использования компактных моделей, демонстрирующих высокую эффективность при относительно невысоких затратах. Тем не менее с ростом сложности решаемых задач возрастает потребность в более мощных архитектурах, что вновь обостряет вопрос технического обеспечения. Помимо вычислительных ресурсов необходимы квалифицированные ИТ-специалисты, способные корректно настроить модель, осуществлять ее сопровождение, управлять обновлениями и обеспечивать соблюдение требований к информационной безопасности.

Принципиально важным аспектом является также то, что языковые модели обучаются на обобщенных корпусах данных, которые, как правило, не содержат специфической информации, подлежащей экспертной оценке. В связи с этим обязательным условием для практического применения LLM в экспертизе становится интеграция механизмов извлечения знаний (RAG) и дообучения (Fine-tuning) на локальных текстах, относящихся к предмету оценки. Такие процессы должны проводиться исключительно в рамках внутреннего контура безопасности организации, с соблюдением всех требований к защите данных, что делает их неотъемлемым этапом встраивания ИИ в экспертную инфраструктуру.

Важно также учитывать правовые и этические вопросы. При автоматизированной обработке заявок и проектов нужно гарантировать защиту персональных данных, отсутствие систематических смещений в оценках, равное отношение ко всем проверяемым объектам. LLM-модели обучены на больших массивах интернет-текстов, где могут присутствовать стереотипы и предвзятости; эти нежелательные паттерны могут проявляться в ответах. Необходимы меры по «очистке» и фильтрации выводов ИИ, особенно если речь идет об оценке людей или организаций.

Также требует дальнейшего анализа социальный аспект интеграции ИИ в экспертную деятельность. В частности, необходимо понять, как меняются роль, ответственность и квалификационные требования к экспертам в условиях гибридных систем, где функции анализа и суждения частично делегируются ИИ.

На данный момент локальные LLM уже доказали свою эффективность для ускорения экспертизы, обеспечивая подготовительную работу и позволяя эксперту сосредоточиться на высокоуровневом анализе. В дальнейшем можно ожидать появления все более специализированных моделей, обученных на узких тематических областях (химия, энергетика, биотехнологии и т.д.) — их интеграция повысит качество именно отраслевых экспертиз. Развитие методов RAG и связок LLM с внешними инструментами (например, с программами расчета или с онтологиями знаний) приведет к созданию своего рода «виртуальных экспертов», способных не только читать тексты, но и выполнять вычисления, строить логические цепочки обоснований. Однако полностью заменить человеческий фактор ИИ вряд ли сможет: эксперт-аналитик будет играть роль наставника и контролера ИИ, проверяя и направляя модель.

Заключение

Современные большие языковые модели (LLM) демонстрируют впечатляющие результаты, однако их использование в научной экспертизе и работе с чувствительными данными сопряжено с рядом ограничений. Проприетарные модели обучены на обширных, но закрытых датасетах, что делает их менее подходящими для задач, требующих прозрачности и воспроизводимости — ключевых требований в научной среде. Кроме того, их использование часто связано с необходимостью передачи данных на внешние серверы, что неприемлемо при работе с конфиденциальной информацией. Обучение собственных моделей с нуля требует значительных вычислительных ресурсов, доступных лишь крупным организациям.

В данной ситуации на первый план выходят open-source модели с возможностью локального развертывания. Принципы открытости и прозрачности кода позволяют обеспечить полный контроль над управлением данными и соответствие локальным требованиям безопасности, а использование методов адаптивного дообучения и извлечения знаний не только повышает точность и адаптирует модель к специфике анализируемых задач, но и позволяет интегрировать актуальные и специализированные знания без необходимости переобучения всей модели.

Таким образом, локальные open-source модели, дополненные методами RAG и Fine-tuning, представляют собой актуальное и своевременное решение для научной экспертизы и работы с чувствительными данными. Они обеспечивают необходимую точность, прозрачность и безопасность, позволяя организациям адаптировать модели под свои специфические потребности без риска компрометации данных в целях повышения эффективности процесса проведения научно-технической экспертизы.

Статья подготовлена к изданию при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания на 2025 г. № 075-00682-25-02.

Словарь актуальных терминов

Fine-tuning (файн-тюнинг) модели — процесс дополнительного обучения предварительно обученной модели на специализированном наборе данных для улучшения ее производительности в конкретной задаче, что достигается путем корректировки ее внутренних параметров (весов).

GPT (Generative Pre-trained Transformer) — семейство языковых моделей ИИ, основанных на архитектуре трансформеров, способных генерировать текст на основе заданного контекста.

LLM (Large Language Model) — большая языковая модель ИИ, обученная на обширных текстовых данных, способная генерировать и обрабатывать текст, отвечать на вопросы и выполнять другие задачи, связанные с языком.

Open-source model (открытая модель) ИИ — модель искусственного интеллекта, исходный код и данные которой доступны для общественности, что позволяет пользователям модифицировать и использовать ее свободно.

Prompt-engineering (пром프트-инжиниринг) — процесс создания и оптимизации запросов (пром프트ов) к языковым моделям для получения более точных и релевантных ответов.

Proprietary model (Проприетарная модель) ИИ — модель искусственного интеллекта, права на которую принадлежат частной компании или организации, и доступ к ней ограничен.

RAG (Retrieval-Augmented Generation) — модель ИИ, которая сочетает генерацию текста и извлечение информации из внешних источников для улучшения качества ответов и их актуальности.

Reasoning (ризонинг) — процесс объяснения и обоснования выводов, сделанных моделью, часто используемый для повышения прозрачности и доверия к решениям ИИ.

Sensitive (чувствительные) данные — данные, требующие особой защиты из-за их конфиденциальности или чувствительности, включая личную информацию, финансовые данные и медицинские записи.

SLM (Small Language Models) (компактные языковые модели) — это более легкие версии своих LLM-аналогов. Они поддерживают меньшее количество параметров, что позволяет оптимизировать их скорость и эффективность без ущерба для основных возможностей.

System model setting (системная настройка модели) — процесс адаптации и настройки модели под конкретные задачи или требования, включая изменение архитектуры или параметров обучения.

Облачный сервис — инфраструктура, которая предоставляет бизнесу доступ к вычислительным ресурсам, хранилищам и приложениям через Интернет.

Список литературы

1. Lock, Samantha. What is AI chatbot phenomenon ChatGPT and could it replace humans? // The Guardian (англ.) 05.12.2022. ISSN 0261-3077 (дата обращения: 15.03.2025).
2. Chat GPT: частное сообщение. URL: <http://openai.com> (дата обращения: 15.04.2025).
3. Сергеев М.В. Актуальные вопросы экспертизы в научно-технической сфере // Инноватика и экспертиза. 2023. Вып. 2 (36). С. 36–51.
4. Дивуева Н.А., Лукашева Н.А. Подход к формированию обобщенной методики организации и проведения научно-технической экспертизы // Инноватика и экспертиза. 2024. Вып. 2 (38). С. 32–42.
5. Секрет успеха Napkin AI: быстро, качественно и доступно. URL: <https://habr.com/ru/companies/bothub/news/881526> (дата обращения: 15.04.2025).
6. Обзор видов лучших ИИ-моделей 2024: сравнение и рейтинг популярных LLM. URL: <https://iaassaaspaas.ru/rating/ai/obzor-vidov-luchshih-ii-modeley-2024-sravnienie-i-reyting-populyarnyh-llm> (дата обращения: 15.04.2025).
7. Быстрое введение в мир существующих больших языковых моделей (LLM) для начинающих. URL: <https://habr.com/ru/articles/825032> (дата обращения: 15.04.2025).
8. Lambert G. DeepSeek R1: Is This the Open-Source Legal Tech Breakthrough We've Been Waiting For? // 3 Geeks and a Law Blog, Jan 2025. URL: <https://geeklawblog.com/geeklawblog.com> (дата обращения: 15.04.2025).
9. Новая небольшая модель искусственного интеллекта Ai2 превосходит аналогичные по размеру модели от Google и Meta*. URL: <https://habr.com/ru/companies/bothub/news/906430> (дата обращения: 15.05.2025).
10. Сравнительный обзор LLM-моделей (LLM Model Comparison). URL: <https://chatgpt.com/c/680a7562-044c-8007-ac74-a708db942dbc> (дата обращения: 25.04.2025).
11. Развертывание кастомной LLM на собственной инфраструктуре (Custom build on-premise Large Language Model – Fine-tuning models on private business data). URL: https://unfoldai.com/build-custom-llm-business/?utm_source=chatgpt.com (дата обращения: 25.04.2025).
12. Как безопасно настроить локальные LLM и системы RAG (How to Set Up Local LLM and RAG Systems Securely). URL: <https://www.chitika.com/local-llm-rag-security> (дата обращения: 25.04.2025).
13. Дообучение LLM в 2025 году (Fine-tuning large language models (LLMs) in 2025). URL: <https://www.superannotate.com/blog/llm-fine-tuning> (дата обращения: 25.04.2025).
14. Причины галлюцинаций ИИ (и методы их уменьшения). URL: <https://ru.shaip.com/blog/ai-hallucinations> (дата обращения: 25.04.2025).

References

1. Lock, Samantha. What is AI chatbot phenomenon ChatGPT and could it replace humans? The Guardian (англ.) 05.12.2022. ISSN 0261-3077 (date of access: 15.03.2025).
2. Chat GPT: chastnoe soobshchenie [Chat GPT: private message]. Available at: <http://openai.com> (date of access: 15.04.2025).
3. Sergeev M.V. (2023) *Aktual'nye voprosy ekspertizy v nauchno-tekhnicheskoy sfere* [Current issues of expertise in the scientific and technical field] *Innovatika i ekspertiza* [Innovation and Expert Examination]. Issue. 2 (36). С. 36–51.
4. Divueva N.A., Lukasheva N.A. (2024) *Podkhod k formirovaniyu obobshchennoy metodiki organizatsii i provedeniya nauchno-tekhnicheskoy ekspertizy* [An approach to the formation of a generalized methodology for organizing and conducting scientific and technical expertise] *Innovatika i ekspertiza* [Innovation and Expert Examination]. Issue. 2 (38). С. 32–42.
5. *Sekret uspekha Napkin AI: bystro, kachestvenno i dostupno* [The secret of success Napkin AI: fast, high-quality and affordable]. Available at: <https://habr.com/ru/companies/bothub/news/881526> (date of access: 15.04.2025).

6. *Obzor vidov luchshikh II-modeley 2024: sravnenie i reyting populyarnykh LLM* [Overview of the types of the best AI models in 2024: comparison and rating of popular ones LLM]. Available at: <https://iaassaaspaas.ru/rating/ai/obzor-vidov-luchshih-ii-modeley-2024-sravnenie-i-reyting-populyar-nyhllm> (date of access: 15.04.2025).

7. *Bystroe vvedenie v mir sushchestvuyushchikh bol'shikh yazykovykh modeley (LLM) dlya nachinayushchikh* [A quick introduction to the world of existing Large Language Models (LLM) for beginners]. Available at: <https://habr.com/ru/articles/825032> (date of access: 15.04.2025).

8. Lambert G. DeepSeek R1: Is This the Open-Source Legal Tech Breakthrough We've Been Waiting For? 3 Geeks and a Law Blog, Jan 2025. Available at: <https://geeklawblog.com> (date of access: 15.04.2025).

9. *Novaya nebol'shaya model' iskusstvennogo intellekta Ai2 prevoskhodit analogichnye po razmeru modeli ot Google i Meta** [The new small Ai2 artificial intelligence model is superior in size to similar models of Google and Meta*]. Available at: <https://habr.com/ru/companies/bothub/news/906430> (date of access: 15.05.2025).

10. *Sravnitel'nyy obzor LLM-modeley* [LLM Model Comparison]. Available at: <https://chatgpt.com/c/680a7562-044c-8007-ac74-a708db942dbc> (date of access: 25.04.2025).

11. *Razvertyvanie kastomnoy LLM na sobstvennoy infrastrukture* [Custom build on-premise Large Language Model – Fine-tuning models on private business data]. Available at: https://unfoldai.com/build-custom-llm-business/?utm_source=chatgpt.com (date of access: 25.04.2025).

12. *Kak bezopasno nastroit' lokal'nye LLM i sistemy RAG* [How to Set Up Local LLM and RAG Systems Securely]. Available at: <https://www.chitika.com/local-llm-rag-security> (date of access: 25.04.2025).

13. *Doobuchenie LLM v 2025 godu* [Fine-tuning large language models (LLMs) in 2025]. Available at: <https://www.superannotate.com/blog/llm-fine-tuning> (date of access: 25.04.2025).

14. *Prichiny gallyutsinatsiy II (i metody ikh umen'sheniya)* [Causes of AI hallucinations (and methods to reduce them)]. Available at: <https://ru.shaip.com/blog/ai-hallucinations> (date of access: 25.04.2025).

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ В ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ ЭКСПЕРТИЗЕ КОНКУРСНЫХ РАБОТ УЧЕНЫХ, ИНЖЕНЕРОВ И АСПИРАНТОВ

В.В. Давыдов, профессор Высшей школы физики и технологии материалов Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, д-р физ.-мат. наук, доцент, davydov_vadim66@mail.ru

И.Г. Кадиев, директор центра Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, канд. экон. наук, доцент, ismmut@gmail.com

Рецензент: К.А. Гулин, ФГБУН Вологодский научный центр Российской академии наук, д-р экон. наук, gulin_k@mail.ru

Определены негативные моменты существующих методов оценки результатов интеллектуальной деятельности при рецензировании заявок на конкурсы стипендий, научных проектов, преподавательские должности и пр. Отмечено различие в интеллектуальных и временных вкладах, а также реальном выходе между промышленным образцом, изобретением, полезной моделью по сравнению с программой для электронно-вычислительных машин (ЭВМ). Представлены тенденции развития процессов патентования промышленных образцов, изобретений, полезных моделей, программ для ЭВМ и баз данных в одном из лучших университетов Российской Федерации. Предложена новая методика оценки результатов интеллектуальной деятельности, которая позволяет устранить отмеченные ранее негативные факторы при проведении экспертизы в данном разделе рецензирования проектов, заявок на стипендии и гранты.

Ключевые слова: результат интеллектуальной деятельности, оценка, балл, проект, стипендия, методика, эффективность.

SOME ASPECTS IN EVALUATING THE RESULTS OF INTELLECTUAL ACTIVITY DURING THE COMPETITIVE WORKS EXAMINATION OF SCIENTISTS, ENGINEERS AND POSTGRADUATES

V.V. Davidov, Professor, Higher School of Physics and Technology of Materials, St. Petersburg and Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Ph.D., Associate Professor, davydov_vadim66@mail.ru

I.G. Kadiev, Director of Centre, St. Petersburg and Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Doctor of Economics, Associate Professor, ismmut@gmail.com

The negative aspects of the existing methods of evaluating the results of intellectual activity in reviewing applications for scholarship competitions, research projects, teaching positions, etc. have been identified. The difference in intellectual and temporal contributions, as well as the actual output, is noted between an industrial design, invention, and utility model compared with a computer program. The trends in the development of patenting processes for industrial designs, inventions, utility models, computer programs, databases, and others at one of the best universities in the Russian Federation are presented. A new methodology for evaluating the results of intellectual activity has been proposed, which makes it possible to eliminate the previously mentioned negative factors during the examination in this section of reviewing projects, applications for scholarships and grants.

Keywords: result of intellectual activity, assessment, score, project, scholarship, methodology, efficiency.

Введение

Анализ экспертных анкет различных конкурсов научных и научно-технических проектов, а также заявок на различные стипендии, как от органов государственной власти, так и от фондов с разной организационной формой, показал крайне удручающую ситуацию по отношению к оценке в баллах результатов деятельности талантливых творческих людей. В данном случае речь идет об оценке результатов интеллектуальной деятельности (РИД), которые, в свою очередь, при правильном стимулированном подходе со стороны государства обеспечивали в СССР на производстве повышение производительности труда, качества и надежности выпускаемой продукции, а также появление новых разработок в различных секторах экономики и науки [1–3]. Не зря изготовленные во времена СССР приборы, машины и механизмы работают до настоящего времени [2–4]. Мерам поддержки изобретателей и рационализаторов в СССР уделялось большое внимание. Многие патенты и авторские свидетельства (АС) СССР были внедрены российскими инженерами после развала СССР в странах Западной Европы и Северной Америки.

Сейчас времена изменились, и классификация РИД стала немного другой. Можно выделить два основных блока [3, 4]. Первый — это промышленный образец, изобретение и полезная модель. Эти три компонента относятся к созданию технической продукции, сред и пр., что крайне интересует предприятия и различных производителей продукции. Второй — это программы для электронно-вычислительных машин (ЭВМ), базы данных и топология интегральных микросхем (ТИМС). Это продукт ИТ-технологий, который в ряде случаев дополняет промышленный образец (обработка результатов) или полезную модель, когда необходимы расчет или сравнение с базой данных, но патентуют программу для ЭВМ отдельно. Это связано с желанием получить как можно быстрее грант для отчета за научно-исследовательскую работу (НИР) или для конкурса на должность за зарегистрированный РИД. Причина этого очень проста. При оценке РИД промышленный образец или изобретение равнозначны по отношению к программе для ЭВМ, что полностью противоречит здравому смыслу.

Возникает вопрос: кто это придумал? И имели ли авторы таких критериев оценки когда-либо отношение к патентованию изобретения, программы для ЭВМ и пр.?

Эти вопросы возникают довольно часто. Последнее связано с анализом баллов, которые выставляются при оценке достижений аспиранта и его научного руководителя в научно-исследовательской деятельности в части РИД на конкурсе стипендий Президента Российской Федерации для аспирантов и адъюнктов, проводящих научные исследования в рамках реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации, определенных Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации. Оценка количества и уровень полученных РИД соискателя стипендии за последние 5 лет — так написано в графе оценки. А дальше — два варианта оценки: 3 балла — за один и более РИД и 0 баллов — за отсутствие сведений о полученных РИД. Для научного руководителя еще «веселее»: 3 балла — за один и более РИД и 0 баллов — за отсутствие сведений о полученных РИД.

Возникает вопрос: а как тут оценивать уровень? Потому как написано, что одна программа для ЭВМ (с любым числом соавторов) — для нескольких научных руководителей и аспирантов, и все баллы ими набраны. А те, кто реально предлагают и делают изобретения или промышленные образцы в малом творческом коллективе, молча приравниваются к ним. Где здесь логика и справедливость?

Стоит отметить, что последние скандалы в прессе, связанные с научной и преподавательской деятельностью ряда ученых в области регистрации программ для ЭВМ, показали полную убогость данной ситуации. Сейчас для переизбрания по конкурсу преподавателю нужен РИД, студентам для победы в конкурсах и грантах тоже нужны РИД. Программу для ЭВМ можно без проблем зарегистрировать через Госуслуги за 5000 руб. на любое «разум-

ное» число авторов. Предприимчивый преподаватель за 5000 руб. с каждого автора с большим успехом регистрировал такие программы на 20–30 авторов. И все были довольны. Я думаю, что он не один, — Россия богата талантами. Погубила алчность. Сдали свои со-авторы. Рецензируя заявки, убеждаешься, что его дело успешно живет и развивается (по 10–15 авторов на одну программу для ЭВМ). И больше у этих аспирантов и их научных руководителей в этом случае по РИД ничего нет. За пять лет можно себе позволить потратить 400–500 руб. на регистрацию программы для ЭВМ и вздохнуть свободно. Парадокс еще и в том, что работу программ для ЭВМ никто не проверяет, даже на плагиат (написал текст — и все).

В отличие от программ для ЭВМ, заявки на промышленный образец, изобретение проверяются в Федеральном институте промышленной собственности (ФИПС) несколькими экспертами (проходят несколько уровней экспертизы). Полезные модели также рассматриваются экспертами.

Представленные нами примеры, которые можно еще привести в большом количестве, показывают необходимость изменения системы оценки РИД. Поэтому цель нашей работы — провести анализ тенденции развития патентования РИД среди ученых и инженеров на примере Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ Петра Великого), который включает различные направления в сфере науки и образования и является одним из ведущих университетов РФ. А также — предложить методику оценки РИД в соответствии с их значимостью для промышленности и науки РФ, а также качеством представления запатентованного материала.

Анализ тенденции представления РИД среди ученых и инженеров и основные причины, влияющие на этот процесс

Анализ тенденции результатов интеллектуальной деятельности ученых и инженеров за последние пять лет выполнен на основе официальных данных по Санкт-Петербургскому политехническому университету Петра Великого. Данное учебное учреждение обладает широким профилем научных специальностей и развитой научно-технологической базой, поэтому тенденции развития РИД, присущие СПбПУ Петра Великого, можно распространить на другие учебные и научные организации. В табл. 1 представлены результаты подачи заявок для регистрации РИД по всем основным типам.

Таблица 1

Распределение по типам РИД поданных заявок на государственную регистрацию

Наименование РИД	Год рассмотрения				
	2020	2021	2022	2023	2024
Промышленный образец на уровне готового изделия	1	0	0	2	4
Промышленный образец на уровне чертежей	0	0	0	0	0
Изобретение	30	28	40	33	28
Полезная модель	18	19	20	24	12
Программа для ЭВМ	148	155	181	231	214
База данных	2	4	16	14	10
Топология интегральных схем (ТИМС)	0	2	3	4	6
Селекционные достижения	0	0	0	0	0

Анализ данных табл. 1 показывает увеличение регистрации программ для ЭВМ при отсутствии роста заявок на изобретение и полезную модель. Устойчива тенденция с регистрацией баз данных и ТИМС.

Причина очень проста. Нет материального стимула. В основном РИД на промышленный образец, изобретение, полезную модель оформляется, если это необходимо для отчета по гранту или государственному заданию. Еще есть различные конкурсы для молодых ученых, где для отчета также требуется изобретение или полезная модель. В остальных случаях — это личное желание автора, которого становится все меньше и меньше по причине увеличения числа документов на оформление РИД.

Новая методика оценки РИД за пять лет на конкурсах грантов и стипендий, а также научных проектов

С учетом установленных причин, которые способствуют резкому увеличению числа зарегистрированных программ для ЭВМ по отношению к промышленным образцам, изобретениям и полезным моделям, предлагается следующая методика оценки достижений в научно-исследовательской и технической деятельности в части РИД за последние 5 лет: установить для оценки шкалу в баллах от 0 до 7.

Максимальное значение получают ученые, зарегистрировавшие промышленный образец на уровне готового изделия, — это 7 баллов. В силу того что для секрета производства (ноу-хау) не предусмотрена процедура государственной регистрации, предлагаем данный объект не учитывать при оценке проектов.

Если промышленный образец — на уровне чертежей, то это оценивается в 5 баллов. Таким же числом баллов оценивается изобретение. Отдельно следует отметить, что если у ученого или инженера три и более изобретений за 5 лет, то к этим баллам добавляется еще один балл, и все оценивается в 6 баллов.

Полезная модель оценивается в 3 балла (к ней приравниваются селекционные достижения). Отдельно следует отметить, что если у ученого или инженера три и более полезных моделей за 5 лет, то к этим баллам добавляется еще один балл, и все оценивается в 4 балла.

Программа для ЭВМ оценивается в 1 балл. Если программа для ЭВМ зарегистрирована в Реестре отечественного программного обеспечения Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, то она оценивается в 3 балла.

Зарегистрированная база данных оценивается в 1 балл. Этим же числом баллов оценивается топология интегральных микросхем. Дополнительные баллы за несколько программ для ЭВМ и базы данных не начисляются.

Отсутствие информации оценивается в 0 баллов.

При подведении итогов показателей по данному разделу экспертизы все баллы суммируются. В итоге талантливый изобретатель может получить в общей сумме $7 + 7 + 6 + 4 + 1 + 3 + 1 + 1 + 1 = 31$ балл, что приравнивает его по баллам к ученому, который публикуется, участвует в конференциях с докладами и является руководителем научных проектов.

Разработанная нами методика была протестирована на 58 анкетах аспирантов и адъюнктов, а также их научных руководителей на конкурсе стипендий Президента Российской Федерации для аспирантов и адъюнктов, проводящих научные исследования в рамках реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации, определенных Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации. В табл. 2 представлены данные по общему числу РИД в данных анкетах.

Анализ собранных данных показывает очень высокий перекося в РИД в сторону программ для ЭВМ, что и было отмечено в введении. Среди аспирантов число промышленных образцов, изобретений и полезных моделей составляет менее 8% количества программ для ЭВМ. У научных руководителей ситуация по соотношению чуть лучше: более 10%. Но удручает то, что это одни из лучших представителей нашей науки. Другие ученые со своими учени-

ками не подают заявки на данный конкурс, так как, скорее всего, представить нечего. Можно только себе представить, что творится в остальном сегменте аспирантов и их научных руководителей по данным показателям.

Таблица 2

Число РИД, представленных в 58 заявках на конкурс, которые были в наличии за последние 5 лет у отмеченной категории участников и их научных руководителей

Наименование РИД	Аспиранты и адъюнкты	Научные руководители
Промышленный образец на уровне готового изделия	1	1
Секреты производства (ноу-хау)	0	1
Промышленный образец на уровне чертежей	0	1
Изобретение	1	8
Полезная модель	4	12
Программа для ЭВМ	83	97
База данных	3	4
ТИМС	0	0
Селекционные достижения	0	0

Далее была проведена апробация новой методики для данной части участников конкурса (58 заявок) и их научных руководителей. На рис. 1 представлено распределение по общей сумме баллов S за РИД среди аспирантов и адъюнктов при использовании новой методики.

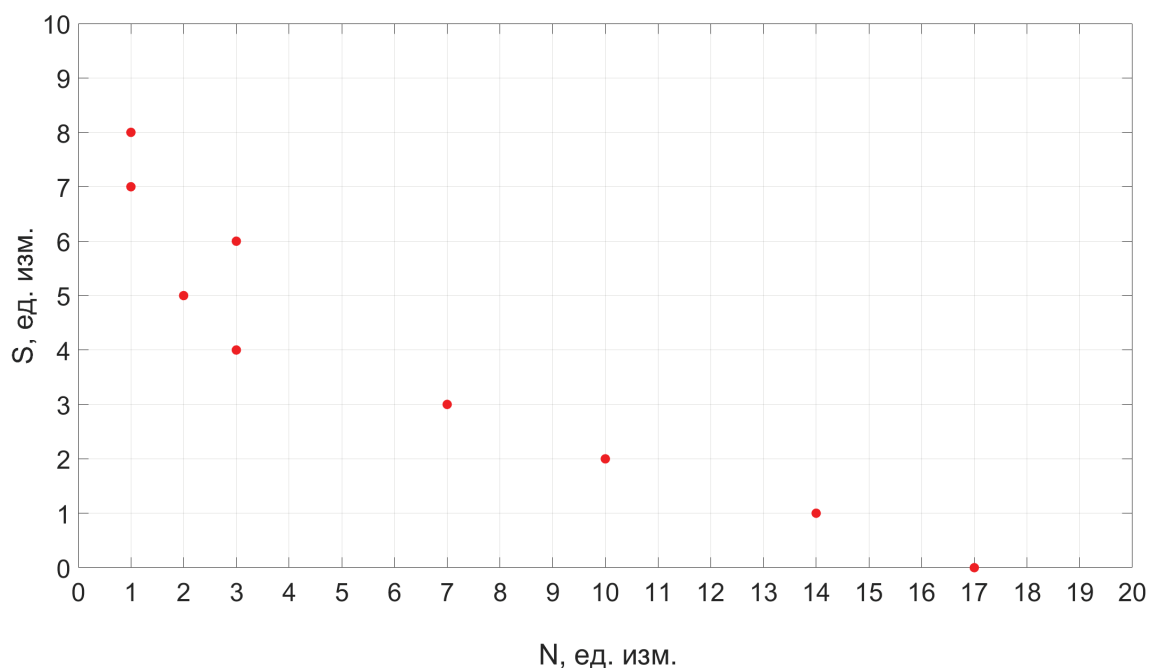


Рис. 1. Распределение баллов среди участников конкурса, где N — число участников, набравших определенное число баллов

На рис. 2 представлено распределение по баллам за РИД среди научных руководителей аспирантов и адъюнктов при использовании новой методики.

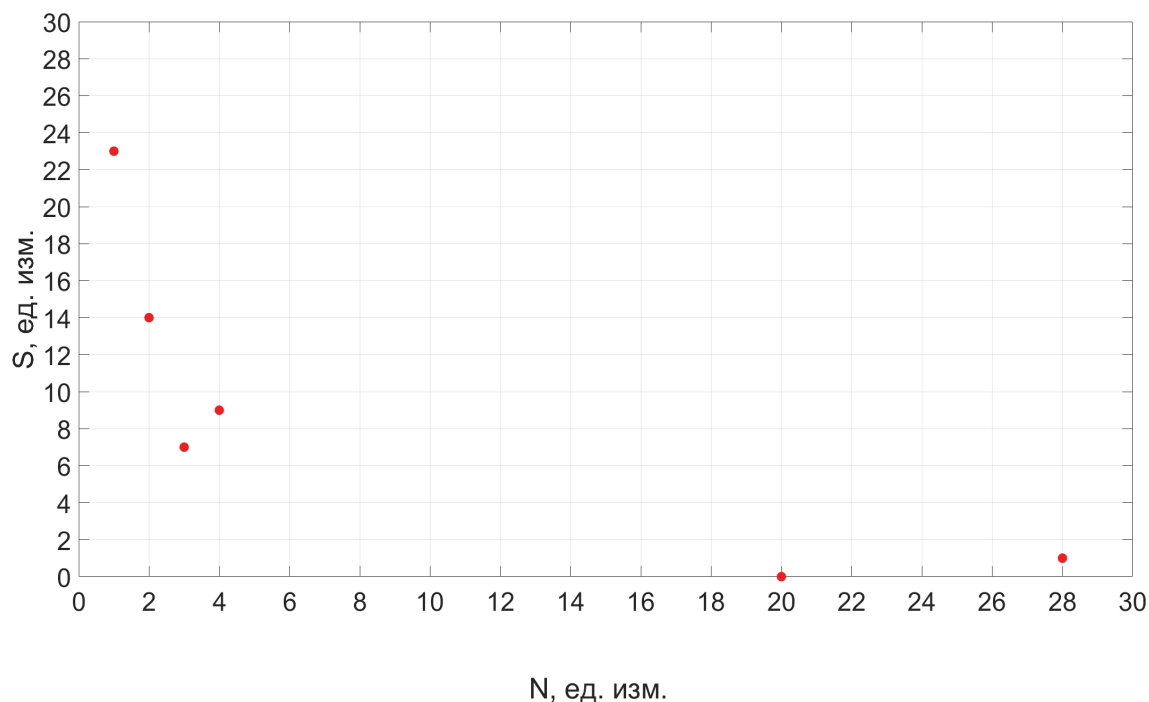


Рис. 2. Распределение баллов среди научных руководителей участников конкурса, где N – число научных руководителей, набравших определенное число баллов

На основании полученных результатов, отраженных на гистограммах (см. рис. 1 и 2), можно сделать следующие выводы. Среди аспирантов и адъюнктов максимального числа баллов не набрал никто. При этом четко обозначились три группы аспирантов и адъюнктов, которые разделяются по баллам в несколько раз. Это принцип сейчас используется в эксперт-анкете при оценке общественного признания соискателя в сфере науки и инноваций (медали, стипендии, гранты) – все различные достижения складываются (и все справедливо). Предлагаемая наша методика, если ее сравнить с методикой, которая используется в оценке общественного признания, работает так же безупречно, как та, с которой сравниваем.

Из научных руководителей (см. рис. 2) также никто не получил максимального числа баллов. При этом произошло четкое разделение между теми, кто реально работают с РИД, и теми, кто просто регистрирует программы для ЭВМ для отчета (см. рис. 2). Несправедливость оценки при использовании существующей методики в среднем составляет более порядка.

Также стоит отметить, что методика позволила выделить среди общего числа научных руководителей изобретателя (разница между ним и учеными, имеющими одну программу для ЭВМ – в 23 раза). Это очень много.

При этом число научных руководителей, которые набрали большое число баллов (их всего 10 из 58), показывает адекватность предлагаемой методики. Выделили из общего числа заявителей не более 20 %, что соответствует мировым стандартам.

Заключение

Проведенные исследования с применением новой методики и сравнение их с результатами оценки деятельности в области РИД, которая сейчас используется, показывают необходимость внесения изменений, так как разница в баллах между творческими людьми, которые вносят вклад в данную область, и теми, кто в большом коллективе зарегистрировали для отчета программу для ЭВМ (в ряде случаев — по договоренности, не имея к ее разработке никакого отношения), среди аспирантов — в среднем в четыре раза. Технические решения/решения внешнего вида изделия промышленного производства играют ключевую роль в обеспечении технологического лидерства государства и промышленных предприятий. Страны и предприятия, способные сочетать инновации, обеспечивать правовую охрану РИД и коммерциализацию прав на объекты интеллектуальной собственности, получают долгосрочные конкурентные преимущества. В нынешней системе оценки 10 творческих аспирантов приравнены к 24 статистам. У научных руководителей несправедливость в оценке еще выше. Разница в баллах между творческими людьми и «статистами» (1 балл) составляет в среднем 10 раз. В настоящее время 10 ученых, которые имеют промышленные образцы, изобретения и полезные модели, приравнены в баллах к «статистам» (1 балл за программу для ЭВМ).

В силу того что для секрета производства (ноу-хау) не предусмотрена процедура государственной регистрации, предлагаем данный объект не учитывать при оценке проектов.

С программами для ЭВМ надо разбираться отдельно. Можно привести множество примеров, когда научные коллективы медицинских и технических направлений являются авторами программ в составе более 20 человек. Мы не говорим о коллективах, которые занимаются, в том числе, разработками программных продуктов. Например, на сайте электронной библиотеки есть промышленный тренажер, который укомплектован от производителя программой настройки (без этого не продается). Например: [Программа-помощник для настройки тренажера «сердце — легкие» 1.0 / Трунин Е.М., Татаркин В.В., Васильев Ю.Л., Стецик Е.О., Щёголев А.И., Нечкин Д.К., Томазова В.С., Исаева П.Е., Качмазов В.Г., Яковлев В.А., Соколова А.С., Рудь В.Ю., Трегубов С.А., Лисицына Н.А., Кошечев А.В., Абугхали М.Х.А., Сармадиан Р., Козловская Т.И. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025614747, 25.02.2025. Заявка № 2025611796 от 06.02.2025].

Остается только удивляться вкладу 18 человек из медицинского учреждения в разработку (вероятнее всего — доработку) программы, которая ранее была сертифицирована и реально работает. И эти авторы при подаче их аспирантами заявки на конкурс в этом году получают в эксперт-анкете по оценке РИД те же баллы, что и ученые, у которых промышленные образцы, изобретения и пр. Логика того, кто предложил такую оценку, очень сложно понять!

При предлагаемой нами системе оценки число соавторов в РИД можно не учитывать, так как в промышленный образец, изобретение, полезную модель лишних соавторов включают крайне редко, что подтверждается результатами нашего исследования. Такая оценка изменит ситуацию среди ученых: или будешь работать, или останешься «статистом» и твои аспиранты проиграют конкурсы. Сейчас напрягаться смысла нет! По сути — «богадельня».

Список литературы

1. Еременко В.И. Особенности правовой охраны секретов производства и информации, составляющей коммерческую тайну // Законодательство и экономика. 2014. № 12. С. 40–44.
2. Гаврилов Э.П. О правовом регулировании использования ноу-хау // Патенты и лицензии. 2012. № 6 и 7. С. 12–17.
3. Губанов Р.С., Журавлева Л.В., Кораблева О.В. Патент как вид нематериальных активов и его использование при реализации программ инновационного развития // Финансовый журнал. 2016. № 2. С. 88–99.

4. Рузакова О.А. Система договоров о создании результатов интеллектуальной деятельности и распоряжении исключительными правами // Проспект. 2017. С. 99–130.

References

1. Eremenko V.I. (2014) *Osobennosti pravovoy okhrany sekretov proizvodstva i informatsii, sostavlyayushchey kommercheskuyu taynu* [Features of legal protection of production secrets and information constituting commercial secrets] *Zakonodatel'stvo i ekonomika* [Legislation and Economics]. No. 12. P. 40–44.
2. Gavrilov E.P. (2012) *O pravovom regulirovanii ispol'zovaniya nou-khau* [On the legal regulation of the use of know-how] *Patenty i litsenzii* [Patents and licenses]. No. 6 и 7. P. 12–17.
3. Gubanov R.S., Juravleva L.V., Korablieva O.V. (2016) *Patent kak vid nematerial'nykh aktivov i ego ispol'zovanie pri realizatsii programm innovatsionnogo razvitiya* [Patent as a type of intangible assets and its use in implementing innovative development programs] *Finansovyy zhurnal* [Financial Journal]. No. 2. P. 88–99.
4. Ruzakova O.A. (2017) *Sistema dogovorov o sozdanii rezul'tatov intellektual'noy deyatel'nosti i rasporyazhenii isklyuchitel'nyimi pravami* [System of contracts on the creation of intellectual property and the disposal of exclusive rights] *Prospekt* [Prospectus]. P. 99–130.

ЗОЛОШЛАКИ: ЦЕННЫЙ РЕСУРС ДЛЯ ЭКОНОМИКИ

А.А. Соловьянов, директор АНО «Международный научно-исследовательский институт устойчивого развития», д-р хим. наук, проф., soloviyanov@mail.ru

Рецензент: Г.В. Козлов, ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), канд. биол. наук, kozlov_gv@mail.ru

В статье проведена оценка масштабов образования золошлаковых отходов (ЗШО), являющихся следствием сжигания различных видов твердого органического топлива (угля, горючего сланца и др.) в России и в ряде зарубежных стран (Китае, Индии, США, Австралии, Японии), а также состояния дел по их полезному использованию для производства дорожных и строительных материалов, ландшафтного дизайна, общестроительных и дорожных работ, засыпки горных выработок, улучшения плодородия почв и рекультивации.

Проведен подробный анализ физико-химических свойств ЗШО, благодаря которым они могут быть использованы в различных отраслях экономики и служить сырьем для получения ценных металлов и других материалов.

Проведен анализ российской и зарубежной нормативной правовой базы, регулирующей утилизацию ЗШО.

Ключевые слова: теплоэлектростанции (ТЭС), золошлаковые отходы (ЗШО), зола уноса, золошлакоотвалы, физико-химический состав ЗШО, воздействие ЗШО на окружающую среду, утилизация ЗШО за рубежом, дорожные и строительные материалы, ландшафтный дизайн, общестроительные и дорожные работы, засыпка горных выработок, улучшение плодородия почв, рекультивации, проекты по утилизации ЗШО в России.

ASH-AND-SLAG: A VALUABLE RESOURCE FOR THE ECONOMY

A.A. Solovyanov, Director, ANO «International Research Institute for Sustainable Development», Ph. D., Professor, soloviyanov@mail.ru

The article evaluates the scale of ash-and-slag waste generation resulting from the combustion of various types of solid organic fuels (coal, oil shale, etc.) in Russia and in a number of foreign countries (China, India, USA, Australia, Japan), as well as the state of affairs regarding their useful use for the production of road and building materials, landscaping design, general construction and road works, backfilling of mine workings, improvement of soil fertility and reclamation.

A detailed analysis of the physico-chemical properties of ash-and-slag waste has been carried out, due to which they can be used in various sectors of the economy and serve as raw materials for the production of valuable metals and other materials.

The analysis of Russian and foreign normative legal base regulating ash-and-slag waste utilization is carried out.

Keywords: thermal power plants (TPP), ash-and-slag waste (ASW), fly ash, ash dumps, physicochemical composition of ASW, impact of ASW on the environment, ASW waste disposal abroad, road and building materials, landscape design, general construction and road works, backfilling of mine workings, improvement of soil fertility, reclamation, ASW disposal projects in Russia.

Введение

Золошлаковые отходы (ЗШО) — это неизбежный спутник энергетического производства, когда в качестве энергоносителя используется твердое топливо: уголь, горючий сланец, торф и др. Поскольку около 40 % энергии в мире производится с использованием угля и кардинальных изменений в мировом энергобалансе в обозримом будущем не предвидится, то и проблема с удалением или использованием ЗШО будет еще долго беспокоить энергетиков, экономистов и экологов. И будет она оставаться актуальной во всех странах, где при производстве энергии пока невозможно обойтись без ископаемого твердого топлива, как, например, в России, Австралии, Индонезии, Бангладеш, Зимбабве, Казахстане, Лаосе, Турции, Пакистане, Вьетнаме и Японии, не говоря уже о странах, где энергетика полностью базируется на угольной генерации, как, например, в Индии и Китае.

Состав золошлаковых отходов

Золошлаковые отходы — это вид промышленных отходов, которые образуются при сжигании твердого и жидкого топлива: угля, торфа, горючего сланца, мазута и т.д. [1–3]. В зависимости от вида топлива ЗШО подразделяют [4] на антрацитовые, каменноугольные, буроугольные, сланцевые, торфяные и др. На выход ЗШО влияет прежде всего вид топлива: при сжигании каменных и бурых углей масса ЗШО составляет от 1 до 45 % массы использованного топлива, при сжигании горючих сланцев — от 50 до 80 %, при сжигании торфа — от 2 до 30 %.

При этом известно, что четкого соотношения между массой образовавшихся ЗШО и массой сожженного топлива нет [5], так как на это соотношение влияет множество факторов, среди которых, помимо вида топлива, — конструкция оборудования, в которой сжигается топливо, тип топлива и содержание в нем примесей; особенности процесса топливоподготовки; схема и технология очистки дымовых газов, подготовки угля к сжиганию и самого процесса сжигания, а также очистки образующихся дымовых газов и др.

Весь опыт развития угольной промышленности показывает, что полностью избавиться от содержащихся в угле минеральных компонентов невозможно [5], а глубокое обогащение энергетических углей нецелесообразно экономически. Этот вывод закреплён и в ряде регламентирующих документов. Так, например, в ГОСТ 32347–2013 «Угли каменные и антрациты Кузнецкого и Горловского бассейнов для энергетических целей. Технические условия» [6] допустимая зольность (содержание негорючих примесей) составляет от 13 до 40 %, а средняя — 25 %, то есть фактически устанавливается, что при сжигании тонны угля допустимо образование в среднем 250 кг золы.

В ходе технологического процесса сжигания угля он сгорает не весь, и часть угля остается в золе в виде недожога (органического компонента ЗШО). Высокая степень недожога невыгодна для энергетических объектов, но дожигать уголь тоже не получается — для зол разных видов углей нормативные показатели по недожогу составляют [6] от 2 до 24 %, причем значения 2–3 % зачастую достигаются путем предварительной подготовки золы уноса к использованию.

Недожог в ЗШО находится в виде полукокса и кокса. Соотношение между органической и неорганической (минеральной) частями зависит от способа подготовки угля к сжиганию и способа сжигания. Характерными свойствами недожога являются повышенная, по отношению к исходному углю, калорийность и практически полное отсутствие летучих составляющих. По своим характеристикам недожог является готовым сырьем для металлургической промышленности и вторичным топливом для энергетики.

В большинстве случаев ЗШО имеют вид серой или темно-серой неоднородной массы, состоящей из золы уноса (удаляется с дымовыми газами) — смеси частиц размером от 5 до 150 мкм, шлака (удаляется из котла) — смеси фрагментов разной крупности, образовавшихся при спекании продуктов сжигания, и недожога — несгоревшей части исходного топлива.

В зависимости от вида топлива, режима его горения и типа топливосжигающего оборудования доля золы уноса в ЗШО может составить 75–80 %, шлака — 10–20 % и недожога — 10–20 % [1–5]. Состав ЗШО и объем его образования зависят не только от технологии и оборудования, используемого на энергетическом объекте, но и в значительной степени от содержания в топливе минерального негорючего компонента. При этом свой вклад в ЗШО дают не только неорганические вещества, которые изначально были в составе угольной массы, но и примеси вмещающих пород, от которых не удалось освободиться при обогащении угля.

Для удаления компонентов ЗШО существуют разные технологии [4]. Сухой отбор золы дает золу уноса, мокрое удаление — золу гидроудаления. Зола уноса получается в результате очистки дымовых газов золоуловителями и представляет собой тонкодисперсный материал с очень мелкими частицами, что позволяет использовать ее без дополнительного помола. Зола мокрого отбора образуется при удалении ее с помощью воды в виде пульпы по золопроводам. Топливный шлак — это материал, скапливающийся в нижней части топочного пространства тепловых агрегатов и удаляемый в жидком или спекшемся состоянии. Собственно, совместное удаление золы и шлака на тепловых электростанциях и дает тот материал, который называется ЗШО.

Минералогический состав ЗШО непосредственно зависит [1–5, 7] от:

- минералогического состава исходного угля (или иного ископаемого топлива), а также минералогического состава вмещающих пород, которые примешаны к углю;
- способа подготовки угля к сжиганию,
- технологии сжигания угля;
- системы очистки дымовых газов от зол;
- способа транспортировки золы и шлака в золоотвалы.

С химической точки зрения ЗШО представляют собой сложную смесь веществ, среди которых доминируют [1–5, 7] оксиды и карбонаты различных металлов. Среди них 90 % по массе занимают пять соединений: оксид кремния SiO_2 (45–60 %), оксид алюминия Al_2O_3 (15–25 %), оксид железа Fe_2O_3 (5–15 %), оксид кальция CaO (1,5–4,5 %) и оксид калия K_2O (2,0–4,5 %). В значительно меньших количествах в ЗШО содержатся [2] небольшие количества минеральных примесей различной природы: биогенные (Mn, Mo), конкреционные (MgCO_3 , $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$), терригенные (кварц, глина, циркон), инфильтрационные (металлы платиновой группы, драгоценные, редкие и редкоземельные металлы). В качестве компонентов, которые входят в состав золошлаковых отходов и имеют перспективное значение, можно назвать редкие и цветные металлы; ферросилиций; алюмосиликатные микросферы; магнетитовые микрошарики.

Процессы, происходящие во время сгорания угля, приводят к тому, что в ЗШО помимо органической составляющей (недожога) формируются [2] еще две фазы — кристаллическая и стекловидная (аморфная).

В кристаллической фазе ЗШО можно обнаружить больше всего таких минеральных компонентов, как орто- и метасиликаты, ферриты, шпинели, алюминаты, алюмоферриты, глинистые минералы, оксиды, в т.ч. корунд, глинозем, кварц и др. Могут присутствовать в ЗШО также рудные минералы (например, станин), сульфиты (пирротин, арсенопирит), хлориды, сульфаты и фториды. При нахождении в золошлакоотвале ЗШО подвергаются гидратации и выветриванию. В результате этого в них могут появиться вторичные минералы: оксиды железа, кальцит, цеолиты и др.

Как правило, в ЗШО доминирует [2] стекловидная (аморфная) фаза, в которой присутствуют минеральные образования, состоящие из оксидов алюминия, калия, натрия, кальция и др. В материале аморфной фазы можно обнаружить хорошо выделяющиеся разноцветные стеклообразные фрагменты, чаще всего черного цвета, а также микросферы и их агрегаты. Часть микросфер имеет пустоты, образование которых происходит в результате вспучивания

силикатного расплава в момент образования частицы. Наличие большого количества пузырьков, образовавшихся при формировании микросферы, обуславливает губчатое и пористое строение зольных частиц.

Интерес к использованию ЗШО в качестве сырья для производства различной продукции, в том числе для извлечения из них ценных металлических компонентов, вызвал многочисленные детальные исследования их состава. Результаты некоторых из этих исследований приведены в табл. 1–6.

Таблица 1

Результаты исследования химического состава ЗШО, образовавшихся на некоторых российских и зарубежных теплоэлектростанциях [4]

Вид топлива, ТЭС, ТЭЦ, ГРЭС	Содержание оксидов, % (в пересчете на сухое вещество)							
	SiO ₂	R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Горючие сланцы Поволжья, Сызранская ГРЭС	41,5–45,1	2,5–9,4	3,4–5,9	2,1–3,5	23,9–27,4	3,8–6,7	3,2–5,2	
Бурый уголь, Ангрен- ская ГРЭС Ангренско- го угольного бассейна	28,8–36,1	18,1–41,1	14,8–22,1	3,3–19,0	11,9–23,5	4,1–5,8	1,1–2,0	
То же, Иркутская (Братская) ТЭЦ-6 Канско-Ачинского угольного бассейна, Ирма-Бородинский разрез	28,2–44,4	10,5–27,5	5,1–14,0	5,4–13,5	22,8–38,2	4,2–8,1	0,3–0,8	
	31,6–55,2	10,3–36,0	3,9–23,0	6,4–13,0	21,2–32,4	3,8–7,2	0,8–1,6	
То же, Новосибирская ТЭЦ-3 Канско-Ачин- ского угольного бас- сейна, Назаровский разрез	24,2–27,0	20,5–28,3	6,7–7,5	13,8–20,7	38,0–44,1	4,1–5,5	0,2–0,3	
	23,2–41,7	16,7–32,9	6,4–13,0	10,3–19,9	24,2–44,6	4,5–5,2	0,4–2,2	
Каменный уголь, Рефтинская ГРЭС Экибастузского уголь- ного бассейна	59,69	34,2	29,1	5,1	2,52	0,94	0,11–0,8	0,4–0,7
	43,2–65,0	25,5–54,4	21,3–29,0	4,2–25,4	0,4–12,7	0,8–3,5		
То же, Чульманская ТЭС, Нерюнгинское месторождение	49,3–54,4	18,9–20,8	17,5–18,8	1,4–2,0	1,5–2,2	0,7–1,0		
Бурый уголь, Дорогобужская ТЭЦ Подмосковного угольного бассейна	49,02	45,8	33,5	12,3	3,09	0,48		
То же, Рязанская ГРЭС Подмосковного угольного бассейна	49,41	45,7	39,9	5,8	3,94	0,73		0,7–0,9
	46,3–49,7	40,8–51,8	31,8–36,6	9,0–15,2	2,6–4,0	0,3–1,1	0,1–0,2	
То же, Краснокамен- ская ТЭЦ Харанор- ского месторождения	55,52	24,6	19,8	4,8	11,28	3,38		

Окончание таблицы 1

Вид топлива, ТЭС, ТЭЦ, ГРЭС	Содержание оксидов, % (в пересчете на сухое вещество)							
	SiO ₂	R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Антрацитовый уголь, Новочеркасская ГРЭС Донецкого угольного бассейна	42,51–46,4	29,7–32,0	19,9–21,7	9,8–10,3	3,15–3,4	1,9–2,11	0,5–1,1	3,7–4,0
ТЭЦ г. Боров-Дол, Болгария	50–58	23,8–32,3	15–22	8,8–10,3	2,2–3,0	1,7–2,2	–	2,6–3,4
ТЭЦ Болгария	55–59	30,8–39,4	25–29	5,8–10,4	1,5–3,7	1,3–3,0	–	1,2–2,3
ТЭЦ г. Туров, Польша	51,01	38,3	33,7	4,6	1,68	0,52	0,39	1,66
ТЭС г. Сталёва-Воля, Польша	51,57	25,2	19,6	5,6	4,04	0,5	0,34	1,8
ТЭЦ Япония	53–63	27–34	25–28	2–6	1–7	1–2	0,8–2,4	1,8–3,2
ТЭЦ Англия	41–51	29–48	23–34	6–14	1–8	1,4–3,0	0,2–1,9	1,8–4,2
ТЭЦ Франция	29–54	15–48	10–33	5–15	1–39	1–5	0,1–9,0	0,7–6,0
ТЭЦ ФРГ	34–50	29–50	21–29	8–21	2–12	1–5	–	
ТЭЦ США	32–52	22–59	14–28	8–31	2–12	0–2	–	

Таблица 2

Содержание редких металлов в ЗПО Томской ГРЭС-2 в разных точках отбора [8]

№ п/п	Название	Обозначение	№ 1, мг/л	№ 2, мг/л	№ 3, мг/л
1	Церий	Ce	0,261	0,232	0,226
2	Диспрозий	Dy	<0,005	<0,005	<0,005
3	Эрбий	Er	0,018	0,015	0,016
4	Европий	Eu	<0,005	<0,005	<0,005
5	Гадолиний	Gd	–	–	–
6	Гольмий	Ho	–	–	–
7	Лантан	La	0,153	0,149	0,133
8	Лютеций	Lu	0,0032	0,0033	0,0036
9	Неодим	Nd	0,089	0,084	0,069
10	Празеодим	Pr	–	–	–
11	Скандий	Sc	0,037	0,035	0,035
12	Самарий	Sm	–	–	–
13	Тербий	Tb	0,0065	0,0063	0,0065
14	Тулий	Tm	–	–	–
15	Иттрий	Y	0,099	0,092	0,083
16	Иттербий	Yb	0,012	0,011	0,010

Таблица 3

Сравнение усредненного химического состава зарубежных и российских ЗПО [9]

Компонент	Китай	Индия	США	ЮАР	Россия
SiO ₂	31,40–60,00	50,20–59,70	37,80–58,50	49,92–56,29	37,00–62,50
Al ₂ O ₃	11,20–55,00	14,00–32,40	19,10–28,60	27,21–31,52	17,50–34,00
Fe ₂ O ₃	1,50–19,30	2,70–14,40	6,80–25,50	2,58–5,91	4,50–19,00
CaO	0,80–31,00	0,60–2,60	1,40–22,40	4,80–9,47	2,00–14,50
TiO ₂	0,20–1,50	0,20–0,70	1,10–1,60	1,39–2,25	–
Na ₂ O	0,20–2,40	0,50–1,20	0,30–1,80	0,03–0,81	0,10–0,50
SO ₃	0,10–3,50	–	0,10–2,10	0,05–4,78	0,10–0,60
MgO	0,40–4,80	0,10–2,10	0,70–4,80	1,47–2,69	0,50–2,10
P ₂ O ₅	0,30–1,50	0,10–0,60	0,10–0,30	0,45–0,90	0,60–0,70
MnO	0,05–0,06	0,50–1,40	–	–	0,90–2,00
П.п.п.	2,40–18,30	0,50–5,00	0,20–11,00	1,54–7,81	–

Таблица 4

Усредненный элементный анализ ЗПО Читинской ТЭЦ-2 [10]

Элемент	Содержание в золе уноса золошлакового озера, г/т	Элемент	Содержание в золе уноса золошлакового озера, г/т	Элемент	Содержание в золе уноса золошлакового озера, г/т
Al	91910,01	Cu	62,83	Pb	34,65
As	89,33	Fe	40855,79	S	2993,50
Ba	1392,51	K	18366,54	Zr	110,18
Be	8,43	La	41,25	Sc	3,83
Rb	5,76	Li	44,23	Sn	86,49
Ca	64117,53	Mg	15016,86	Sr	1450,67
Cd	4,41	Mn	1214,67	Ti	3046,80
Co	23,88	Mo	14,27	V	71,89
Cr	105,27	Ni	82,53	W	110,18
Y	29,40	Zn	36,87	Ce	12,02
P	601,21	Ga	4,27	Ge	172,52

Таблица 5

Усредненный химический состав геосистемы «уголь — зола — золошлак» Читинской ТЭЦ-2 [10]

Вещество	Уголь Харанорского месторождения, используемый на ТЭЦ-2, %	Зола с котлоагрегата № 4, %	Зола уноса с золошлакового озера, %
SiO ₂	53,30	50,49	51,77
CaO	9,70	14,02	12,21
Al ₂ O ₃	20,30	20,58	21,89
MgO	2,80	1,87	1,77

Окончание таблицы 5

Вещество	Уголь Харанорского месторождения, используемый на ТЭЦ-2, %	Зола с котлоагрегата № 4, %	Зола уноса с золошлакового озера, %
MnO	0,03	0,02	0,01
Fe ₂ O ₃	3,10	8,53	9,13
FeO	4,58	6,99	4,57
K ₂ O	1,90	1,34	3,34
TiO ₂	0,60	0,78	0,65
SO ₃	4,67	0,84	0,76
BaO	—	0,67	1,01
P ₂ O ₅	3,10	1,11	1,04

Таблица 6

Содержание металлов в рудах и угольной золе [2]

Элемент	Среднее содержание элементов в рудах, г/т	Ориентировочное минимальное содержание в золе, г/т
Be	BeO: 100–320 и выше	BeO: 100, Be-36
Sc	72,65 (в бокситах)	73
V	VO ₂ : 400–1200 (в бокситах)	VO ₂ : 400
Ga	19,08–53,78 (нефелиновые, апатит-нефелиновые руды, бокситы)	19,08–54
Zr	ZrO ₂ : 900 (пироксеновые)	ZrO ₂ : 900
Nb	Nb ₂ O ₅ : 100–3700	Nb ₂ O ₅ : 100
Mo	100-штокверковые руды с попутным молибденом	100
Ag	комплексные серебросодержащие: медно-молибденовый тип – 0,2; вольфрамовый – 1,0; молибденовый – 2,9; медистые песчаники и сланцы – 10	0,2
Cs	Cs ₂ O: апатит-нефелиновые – 0,98; слюдитовые и кварц-плагиоклазовые жилы – 386,36; среднее значение по разным типам руд – 22,58	Cs ₂ O: 2,5–22,6
W	WO ₃ : в россыпных месторождениях – 94 г/м ³ ;	WO ₃ – 94 г/м ³ ; W – 35 (75 г/м ³)
	WO ₃ : минерализованные зоны с попутным вольфрамом – 550	WO ₃ – 550; W – 440
U	в россыпных месторождениях – 93,65 г/м ³	40
Au	в россыпных месторождениях для открытой разработки – 0,7 г/м ³	0,12
Pt	платино-золотоносные россыпи – 0,029 г/м ³ ; золотоносные с содержанием платины – 0,008 г/м ³	0,004–0,014 (0,008–0,029 г/м ³)
Ti	в ильменит-титаномагнетитовых и россыпных – 3600–38 3000 [8]	7000–9000

Нетрудно видеть, что в ЗШО содержатся практически все элементы таблицы Менделеева, причем некоторые – в следовых количествах, а другие – в количествах, которые превращают ЗШО в настоящие руды для извлечения из полезных компонентов. В следовых количествах (иногда меньше грамма на тонну) содержатся, в зависимости от свойств сжигаемого угля, щелочные и щелочноземельные металлы, различные переходные металлы (в том числе ценные, редкие и редкоземельные) и некоторые неметаллы (например, мышьяк, бор, сера).

С другой стороны, некоторые образцы ЗШО содержат ценные металлические компоненты, например бериллий, скандий, ванадий, галлий, церий, молибден, вольфрам и некоторые другие (см. табл. 6) в таких же концентрациях, что и промышленно разрабатываемые руды.

Учитывая, что некоторые редкие металлы, такие как Sc, Ga, не имеют собственных рудных месторождений и их производство связано с переработкой руд других металлов (Pb, Zn, Cu, Al), то такие нетрадиционные источники редких металлов, как ЗШО, могут приобретать особую актуальность. Кроме того, учитывая высокие цены на металлы на мировом рынке при сравнительно невысокой себестоимости их лабораторного извлечения из ЗШО, можно предположить, что производственная себестоимость выделения металлов будет не выше традиционных методов их получения.

Таким образом, результаты химического анализа ЗШО могут быть хорошим основанием для формирования стратегии по их использованию в качестве сырья для извлечения полезных компонентов. При этом надо иметь в виду, что экономические показатели процесса по извлечению ценных компонентов из ЗШО на разных участках одного отвала могут различаться. Тем не менее даже следовые количества ценных и редких металлов могут оправдать трудоемкость процесса их извлечения.

Рассматривая ЗШО в качестве потенциального сырья для производства различных видов полезной продукции, надо также иметь представление об их физико-механических свойствах. Исследования, проведенные различными специалистами, позволили получить такие сведения об этих характеристиках [7, 11–13]. Далее перечисляются эти характеристики:

- плотность – 1,9–2,3 г/см³;
- удельная поверхность – 2400–3200 см²/г;
- насыпная плотность в уплотненном состоянии – 810–980 кг/м³;
- насыпная плотность в рыхлом состоянии – 600–720 кг/м³;
- дисперсность – в гранулометрическом составе ЗШО доминируют частицы крупностью 62 мкм;
- гидравлическая активность (активность поглощения ЗШО оксида кальция из раствора); качественная зола уноса характеризуется показателем не менее 30 мг на 1 г золы через 30 дней и 100 мг на 1 г золы через 100 дней;
- плавкость – золы уноса классифицируются следующим образом: легкоплавкие ($T \leq 1520$ °C), среднетемплавкие ($T = 1520 \div 1720$ °C) и тугоплавкие ($T > 1720$ °C); температура плавления растет с увеличением содержания соединений алюминия;
- кислотность и основность.

Подход к оценке кислотности и основности за рубежом и в России различен. Так, в европейских странах руководствуются нормами EN 197-1 и считают золу кислой, если в ней содержится менее 10 % активного CaO по массе. Если содержание более 10 % – такую золу классифицируют как основную. Американские специалисты используют собственный стандарт – ASTM C 618 – и относят золы к кислым, если сумма трех кислотных оксидов ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) составляет более 70 % от массы ЗШО, и к основным, если эта сумма меньше 70 %, но больше 50 %. В нашей стране для оценки рассматриваемых показателей зол уноса используется ГОСТ 25818–91 [14]. Согласно ему зола считается кислой, если содержание в ней CaO не превышает 10 % по массе. Если содержание оксида кальция более 10 % (в т. ч. свободного оксида кальция CaO не более 5 %), золу считают основной.

Влияние золошлакоотвалов на окружающую среду

В соответствии с последними данными [9] суммарный объем ЗШО, накопленных в золошлакоотвалах в России, приближается к 1,7 млрд тонн, а общая площадь, занимаемая этими объектами, превышает 220 км². Причина таких масштабов накопления ЗШО очень проста: из вновь образуемых ЗШО для производства полезной продукции используется в настоящее время менее 10 % ЗШО, причем преимущественно золы уноса, а оставшиеся отходы

складируются на золошлакоотвалах. Поскольку на тепловых электростанциях России объем ежегодного образования ЗШО составляет 25–30 млн тонн [5], то при нынешнем отношении к утилизации ЗШО золошлакоотвалы будут только разрастаться.

В зависимости от принятой на предприятии технологии золошлакоудаления отвал может быть намывным (в результате гидрозолоудаления) или насыпным (в результате сухого золоудаления). Строить «сухой» золоотвал дороже, но из него проще извлекать ЗШО для дальнейшей переработки, и его легче рекультивировать.

Сухой золошлакоотвал обычно строят [5] на месте выработанного карьера или других малоценных земель. С поверхности участка снимается верхний слой плодородного грунта (если он имеется), и на его место кладут фильтрационную подушку из крупнозернистого и прочного материала (шлак или щебень). Для предотвращения пыления зола увлажняется до 15 %, и эту операцию необходимо повторять регулярно.

При послойной утрамбовке золы и закрытии ее грунтом образуется массив, практически непроницаемый для вод, что исключает возможность вымывания загрязняющих веществ. Эксплуатационные затраты на такое складирование золы на 40–50 % выше, чем в случае гидрозолоудаления.

Золошлакоотвал для мокрого золоудаления включает площадку намыва свежего материала и отстойный пруд – водоем, в котором осаждаются мелкие фракции золы, а верхний слой обеззоленной воды используется для нужд тепловых электростанций (ТЭС). Золошлакоотвалы классифицируются согласно рельефу, на котором они обустраиваются (пойменные, косогорные, овражные и др.), и ограничиваются дамбами.

Все типы отвалов, кроме овражных и котлованных, делаются секционированными для более равномерного заполнения и разработки отвалов. Это также позволяет наращивать дамбы, увеличивая итоговую емкость золошлакоотвала.

В настоящее время на территории Российской Федерации размещено по крайней мере 79 крупных золошлакоотвалов [5]. Они присутствуют практически во всех федеральных округах, но больше всего их в европейской части России, на юге Сибири и на Дальнем Востоке. Именно эти регионы в наибольшей части ощущают их негативное влияние.

Проектирование золошлакоотвалов предусматривает [15–17] разработку мероприятий, которые должны минимизировать их воздействие на окружающую среду, однако полностью эту проблему решить удастся далеко не всегда. Анализ, проведенный рядом авторов [18–29], показывает, что существование золошлакоотвалов, особенно обустроенных с нарушением проектных решений, может значительно ухудшать состояние природных сред вблизи этих объектов.

Одним из наиболее распространенных видов негативного воздействия золошлакоотвалов на окружающую среду является унос с их поверхности под действием воздушных потоков частиц золы или мелкодисперсного шлака. Это явление особенно сильно может проявлять себя в сухое время или в тех случаях, когда нарушены технологические решения по складированию ЗШО или эксплуатации золошлакоотвала. Такими нарушениями могут быть плохое уплотнение отходов, отсутствие защитного покрытия свалочного тела или недостаточное смачивание его поверхности. Разные оценки [21, 26] и расчеты [29] показывают, что при высоких ветровых нагрузках скорость выноса частиц золы с поверхности золоотвала может превышать 1 кг в секунду, а за год этот объект за счет золоуноса может потерять несколько тонн золы. При постоянном пылении концентрация взвешенных частиц вблизи золошлакоотвала может приближаться [29] к ПДК, а их присутствие можно фиксировать на расстоянии нескольких километров.

Поскольку в ЗШО содержатся элементы почти всей таблицы Менделеева, в том числе относящиеся к трем первым классам опасности для человека и других живых организмов (первый класс – чрезвычайно опасные вещества: мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, цинк, фтор; второй класс – высокоопасные вещества: бор, кобальт, никель, молибден, медь,

сурьма, хром; третий класс — опасные вещества: барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций), то в результате разноса мелких частиц ЗШО все эти элементы могут оказаться в воздухе, почве и воде поверхностных водоемов.

Наличие взвешенных частиц, поступивших в атмосферный воздух из золошлакоотвала и содержащих химические вещества разной степени опасности, может неблагоприятно сказываться на здоровье людей, а также на состоянии растительности и фауны в зоне воздействия объекта.

Выбросы пылевидных частиц из золошлакоотвалов могут быть причиной загрязнения поверхностных водных объектов. Одним из примеров такого негативного воздействия является наличие [24, 30, 31] тяжелых металлов в донных отложениях Воронежского водохранилища, вблизи которого расположена ТЭЦ-1 города Воронежа. Из-за близкого расположения отвалов у водохранилища золошлаковая пыль попадала в этот водный объект, в связи с чем возникла гидрохимическая аномалия протяженностью около 1,5 км по латерали и 250 м в ширину, примыкающая к территории ТЭЦ-1. Вклад в эту аномалию, где доминируют такие тяжелые металлы, как железо, марганец, титан, хром, ванадий, дает не только ветровая эрозия, но и размывание отвалов дождевыми потоками и талыми водами.

Значительное влияние могут оказывать золошлакоотвалы на подземные воды. Воздействие этих объектов может заключаться [24] в подъеме уровня подземных вод, увеличении мощности водоносного горизонта и расхода подземного потока, формировании техногенных водоносных горизонтов, загрязнении подземных вод в результате их смешения с фильтрующимися на их поверхность сточными водами. Во время эксплуатации золошлакоотвала и после ее завершения возможным источником загрязнения может быть инфильтрация атмосферных осадков через золошлаковые накопления. В результате инфильтрации атмосферных осадков и поливочных вод через толщу золошлаков возможен подъем уровня грунтовых вод.

Вода, используемая в системах гидрозолоудаления ТЭЦ, вымывает из ЗШО различные минеральные компоненты и в результате становится насыщенным солевым раствором [24, 32]. В ходе эксплуатации золошлакоотвала формируется техногенный горизонт грунтовых вод, источником питания которых является загрязненный фильтрат.

Переход загрязненных вод в нижние водоносные горизонты приводит к существенному изменению гидрохимического состава природных грунтовых вод [24, 32, 33]. При этом разгрузка подземных загрязненных вод в естественные дренажи может вызывать загрязнение поверхностного стока.

Результаты исследований гидрохимического состава подземных вод в районах размещения гидрозолоотвалов показывают, что их загрязнение из-за инфильтрации вод может носить достаточно серьезный характер. Так, из-за слабой защищенности первого от поверхности водоносного горизонта от вод золоотвалов города Комсомольска-на-Амуре и города Хабаровска в этот горизонт может поступать [34] вода, в которой содержатся значительные концентрации бора (до 0,37 мг/дм³), мышьяка (до 0,027 мг/дм³), бария (0,11–0,12 мг/дм³; 1,0–1,2 ПДК), ванадия (0,16 мг/дм³; 1,6 ПДК), селена (0,018 мг/дм³; 1,8 ПДК) и растворенных нефтепродуктов (до 2,1 ПДК). Для данных вод характерны повышенная минерализация (до 0,4 г/дм³) и щелочная среда (рН более 8,4).

Изучение [34] химического состава подземных вод в районе золоотвала Хабаровской ТЭЦ-1 в 2005–2006 гг. подтвердило, что вблизи золоотвала сформировались подземные воды аномального химического состава. Благодаря повышенному напорному градиенту золоотвала происходила миграция в водоносный горизонт ряда тяжелых металлов (никель, цинк, свинец, медь, ванадий), которые неоднократно фиксировались в воде, но без превышения ПДК.

По данным [35], золоотвал Архангельской ТЭЦ формирует повышенное содержание аммония (до 45 мг/дм³) и никеля (1,2 ПДК) в грунтовых водах.

Еще одной экологической проблемой систем гидрозолоудаления является осветленная вода, которая используется в водооборотных системах на нужды ТЭЦ. Она содержит множество химических веществ в концентрациях, превышающих ПДК. Многократная циркуляция оборотной воды при ее контакте с ЗШО превращает ее в перенасыщенный раствор, который может наносить значительный вред поверхностным водоемам, если его сбрасывать без очистки.

Земли, отводимые под золошлакоотвалы, обычно безвозвратно изымаются из хозяйственного оборота. При этом они занимают площади в 3–4 раза большие, чем площади самих предприятий. Кроме того, земли, на которые в течение длительного времени выпадали частицы ЗШО с высоким содержанием оксидов различных металлов и металлоидов, соединений, существенно изменяют свои свойства и становятся менее плодородными [32–35]. Меняется pH почвенных растворов, возрастает содержание в почве кальция, железа, магния, снижается содержание органических веществ. Наиболее негативное воздействие на структуру и плодородие почв оказывают кислые золы.

Следует отметить, что риск негативного влияния золошлакоотвала на объекты окружающей среды, в том числе на фауну, остается [36] даже после его заполнения до проектных отметок и рекультивации, поскольку он становится средой обитания диких животных. Выявленные концентрации металлов в поверхностных водах, растениях и в тканях мелких млекопитающих, находящихся в зоне влияния золоотвала, превышали фоновый уровень.

Очевидно, что оценка потенциальной опасности золошлакоотвала для окружающей среды зависит от многих факторов, среди которых первостепенное значение имеют:

- состав складироваемых ЗШО – доля золы уноса в ЗШО и ее дисперсность, а также химический состав ЗШО;

- конструкционные особенности и состояние золошлакоотвала – экологичность системы транспорта ЗШО в объект, площадь поверхности, высота над уровнем земли, заполненность ЗШО;

- природно-климатические особенности района расположения золошлакоотвала – среднегодовая температура, количество выпадаемых осадков, интенсивность и направление ветров;

- наличие вблизи золошлакоотвала особо уязвимых к негативному воздействию объектов жилой застройки, объектов питьевого назначения, сельскохозяйственных угодий, особо охраняемых природных территорий и др.

Регулирование обращения с золошлаковыми отходами

В 2020 г. была утверждена новая версия Энергетической стратегии Российской Федерации [37]. В соответствии с этим документом уже в 2024 году доля утилизированных ЗШО должна была достичь 15 %, а к 2025 году – 50 % (табл. 7).

Таблица 7

Показатели, установленные Энергетической стратегией Российской Федерации на период до 2035 года в области утилизации золошлаковых отходов [37]

	2018 год (базовый уровень)	2024 год	2035 год
Доля утилизированных и обезвреженных отходов в общем объеме образованных отходов в отраслях топливно-энергетического комплекса	52,6 %	65 %	85 %
в том числе продуктов сжигания твердого топлива (золошлаков)	8,4 %	15 %	50 %

Социально значимыми эффектами от повышения уровня утилизации ЗШО должны стать [37]:

- исключение изъятия земель под строительство новых золошлакоотвалов;
- снижение потребления природных ресурсов (общераспространенных природных ископаемых);
- снижение стоимости работ по рекультивации нарушенных земель и дорожному строительству;
- снижение инвестиционной нагрузки на тарифы (на тепловую и электрическую энергию).

В последние несколько лет в России предпринимаются большие усилия для того, чтобы как можно больше материалов, веществ или изделий, утративших исходные потребительские характеристики, можно было бы превратить в полезную продукцию или использовать для производства такой продукции. Не были поэтому обойдены вниманием и ЗШО. Так, 8 июля 2022 года было выпущено постановление Правительства РФ № 1224 «Об особенностях описания отдельных видов товаров, являющихся объектом закупки для обеспечения государственных и муниципальных нужд, при закупках которых предъявляются экологические требования». В этом документе было определено, что «при описании объекта закупки, относящегося к товарам, указывается доля вторичного сырья, использованного при производстве товара». В число таких товаров были включены «твердые поверхностные покрытия и элементы благоустройства — покрытия из переработанных материалов, тротуарная плитка, бордюры, ограждения», для производства которых могли быть использованы ЗШО.

При этом Министерству промышленности и торговли Российской Федерации поручено ежегодно начиная с 2024 года, не позднее 1 сентября, предоставлять в Правительство Российской Федерации согласованные с Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации предложения о видах товаров, являющихся объектом закупки для обеспечения государственных и муниципальных нужд, при закупках которых предъявляются экологические требования, а также о минимальной доле вторичного сырья, использованного при их производстве.

Так, 15.06.2022 вышло распоряжение Правительства Российской Федерации № 1557-р «Об утверждении комплексного плана по повышению объемов утилизации золошлаковых отходов V класса опасности». Этот План предусматривает в основном мероприятия организационного типа, в первую очередь:

- разработку новых документов по стандартизации, определяющих требования к продукции, полученной в процессе утилизации ЗШО;
- принятие в отдельных субъектах региональных программ повышения объемов утилизации ЗШО;
- определение требований к отходам или вторичному сырью, полученному путем переработки ЗШО.

Вскоре после этого в письме от 19.07.2023 № АГ-04-23/15365 «Об утилизации золошлаковых отходов V класса опасности» Роснедра сообщили, что использование золошлаковых отходов V класса опасности, отходов для ликвидации горных выработок и иных сооружений, связанных с пользованием недрами, рекультивацией земель, будет являться их утилизацией.

С 01.03.2024 вступило в силу распоряжение Правительства РФ от 02.08.2023 № 2094-р [38], в котором приведен перечень продукции (товаров), производство которых должно осуществляться с использованием определенной доли ЗШО. В этот перечень входит продукция, которую можно использовать в строительстве зданий, сооружений и дорог. Доля ЗШО в составе этой продукции варьирует в интервале 5–10 % (табл. 8).

Таблица 8

Перечень продукции (товаров), производство которых должно осуществляться с использованием определенной доли ЗШО [38]

№	Наименования видов продукции (товаров)	Доля вторичного сырья – минимальная доля вторичного сырья, %	Код продукции по общероссийскому классификатору ОК 034–2014 (КПЕС 2008) (ОКПД 2)	Наименование продукции по общероссийскому классификатору ОК 034–2014 (КПЕС 2008) (ОКПД 2)
1	Цементы общестроительные, производимые с использованием сланцевой золы (с использованием золошлаковых смесей (золы уноса))	6	23.51	Цемент
5	Модифицированная асфальтобетонная смесь с использованием золошлаковых смесей (золы уноса)	5	19.20.42.121 23.99.12.190 23.99.13.110 23.99.13.120	Битумы нефтяные дорожные. Изделия из асфальта или аналогичных материалов прочие. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон
10	Бетоны для всех видов строительства с использованием золошлаковых смесей (золы уноса), образующихся на тепловых электростанциях при совместном гидроудалении золы и шлака	10 (по массе вяжущего)	23.63	Бетон, готовый для заливки (товарный бетон)
11	Конструкционные и теплоизоляционные легкие бетоны с использованием золошлаковых смесей (золы уноса) тепловых электростанций	10 (по массе вяжущего)	23.63	Бетон, готовый для заливки (товарный бетон)
12	Тяжелые, легкие, ячеистые бетоны и строительные растворы, сухие строительные смеси (с использованием в качестве компонента золошлаковых смесей (золы уноса))	10 (по массе вяжущего)	23.63	Бетон, готовый для заливки (товарный бетон)
13	Укрепленные грунты в дорожном строительстве (с использованием золошлаковых смесей (золы уноса) в качестве минерального вяжущего)	5 (по массе вяжущего)	23.99.19.190	Продукция минеральная неметаллическая прочая, не включенная в другие группировки

Окончание таблицы 8

№	Наименования видов продукции (товаров)	Доля вторичного сырья — минимальная доля вторичного сырья, %	Код продукции по общероссийскому классификатору ОК 034—2014 (КПЕС 2008) (ОКПД 2)	Наименование продукции по общероссийскому классификатору ОК 034—2014 (КПЕС 2008) (ОКПД 2)
14	Силикатный бетон плотной структуры с использованием золошлаковых смесей (золы уноса) в качестве вяжущего	10 (по массе вяжущего)	23.63	Бетон, готовый для заливки (товарный бетон)
15	Искусственные пористые заполнители — зольный и шлакозитовый гравий, глинозольный и глиношлаковый гравий и щебень, зольный аглопоритовый гравий и щебень, глинозольный и глиношлаковый песок, зольный аглопоритовый песок с использованием в качестве сырья золы уноса, шлака и золошлаковых смесей	5	08.12.13.000	Смеси шлака и аналогичных промышленных отходов без добавления или с добавлением гальки, гравия, щебня и кремниевой гальки для строительных целей
16	Техногенные грунты, полученные с использованием отходов углеобогащения смесей, применяемые для технического этапа рекультивации нарушенных земель, обратной засыпки котлованов и выемок при проведении строительных работ, рекультивации свалок и полигонов твердых коммунальных отходов, планировки естественных неровностей рельефа и т. д.	10	23.99.19.190	Продукция минеральная неметаллическая прочая, не включенная в другие группировки
17	Бетоны жаростойкие с использованием золошлаковой смеси (золы уноса)	10	23.63	Бетон, готовый для заливки (товарный бетон)
18	Шлакобетон с использованием золошлаковых смесей (золы уноса)	10	23.63	Бетон, готовый для заливки (товарный бетон)
34	Комплексные минеральные вяжущие (КМВ) с использованием шлаков доменных и электротермофосфорных гранулированных, золы уноса, белитового шлама, золошлаковой смеси и пыли уноса вращающихся печей	5	23.64	Смеси и растворы строительные
38	Кирпич известково-зольный	10	23.61.11.131	Кирпич силикатный и шлаковый

Следует отметить, что еще с середины семидесятых годов прошлого века сначала в СССР, а потом в Российской Федерации выпускались нормативные документы и методические рекомендации по применению зол и золошлаковых материалов в дорожном строительстве, которые регламентировали, в том числе, требования к объемам применения ЗШО каждого вида продукции и к качеству этой продукции. Перечень этих документов приведен далее.

Основным нормативным документом, в котором приведены и детализированы основные требования к золошлаковым материалам, используемым в дорожном строительстве, а также указания по технологии их применения, являются [4] «Технические указания по использованию зол уноса и золошлаковых смесей от сжигания различных видов твердого топлива для сооружения земляного полотна и устройства дорожных оснований и покрытий автомобильных дорог» (ВСН 185–75), принятые Министерством транспортного строительства СССР еще в 1976 году. В ВСН 185–75 отражены обобщенные результаты исследований СоюздорНИИ, ГипродорНИИ, ГосдорНИИ, Ленинградского, Среднеазиатского, Казахского, Омского филиалов СоюздорНИИ, а также учтены данные производственного опыта Эстонской ССР и других научно-исследовательских и учебных институтов. Их целью было способствовать широкому использованию в дорожном строительстве зол уноса и золошлаковых смесей для устройства различных конструктивных слоев укрепленных оснований, а в ряде случаев и покрытий автомобильных дорог. ВСН 185–75 предусматривают применение в дорожном строительстве зол уноса и золошлаковых смесей, получаемых от сжигания в котлоагрегатах тепловых электростанций (ТЭС) твердого топлива различного вида (бурого и каменного угля, торфа, горючих сланцев).

Межгосударственный стандарт ГОСТ 25818–91 «Золы уноса тепловых электростанций и бетонов» разработан Научно-исследовательским институтом железобетона Госстроя СССР и введен в действие в 1991 году. Он предусматривает применение зол уноса сухого отбора (кислых и основных) в качестве компонента для приготовления тяжелых, легких, ячеистых бетонов и строительных растворов. Кроме того, предусматривается использование этих зол в качестве тонкомолотой добавки для жаростойких бетонов и минеральных вяжущих. При этом нормируются такие основные показатели сырья, как:

- содержание оксида кальция, оксида магния, сернистых и серноокислых соединений в пересчете на SO_3 , щелочных оксидов в пересчете на Na_2O ;
- потеря массы при прокаливании;
- удельная поверхность;
- влажность золы (не более 1 % по массе);
- величина суммарной удельной активности естественных радионуклидов.

В 2018 году взамен ГОСТ 25818–91 был введен в действие межгосударственный стандарт ГОСТ 25818–2017 «Золы уноса тепловых электростанций и бетонов», действие которого «распространяется на золы уноса (далее – золы) сухого отбора, образующиеся на тепловых электростанциях в результате сжигания углей или смесей углей в пылевидном состоянии и применяемые в качестве компонента для изготовления тяжелых, легких, ячеистых бетонов и строительных растворов, сухих строительных смесей, а также в качестве тонкомолотой добавки для жаростойких бетонов и минеральных вяжущих для приготовления смесей и укрепленных грунтов в дорожном строительстве».

ГОСТ 25592–91 «Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов», разработанный институтом НИИЖБ Госстроя СССР и введенный в действие в 1991 году, распространяется на золошлаковые смеси гидроудаления, применяемые в качестве компонента при приготовлении строительных растворов, а также тяжелых, легких и ячеистых бетонов для сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкций и изделий. При этом считается, что золошлаковые смеси состоят из шлакового песка (размер зерен от 0,315 до 5 мм) и шлакового щебня (размер зерен крупнее 5 мм).

При этом нормируются такие основные показатели сырья, как:

- удельная поверхность;
- потеря массы при прокаливании;
- содержание оксидов кальция и магния, сернистых и серноокислых соединений в пересчете на SO_3 , щелочных оксидов в пересчете на Na_2O ;
- влажность (не выше 15 % по массе);
- величина суммарной удельной активности естественных радионуклидов.

Предусматривается, что шлаковый щебень золошлаковой смеси должен обладать стойкостью против силикатного и железистого распадов, отвечать требованиям по морозостойкости.

В 2022 году взамен ГОСТ 25592–91 был введен в действие межгосударственный стандарт ГОСТ 25592–2019 «Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов», действие которого распространяется «на золошлаковые смеси, образующиеся на тепловых электростанциях при совместном гидроудалении золы и шлака или механическим способом (пневмотранспортом) в золоотвал в процессе сжигания углей в пылевидном состоянии и представляющие собой вторичные минеральные ресурсы (ВМР), применяемые в качестве компонентов для изготовления бетонов для всех видов строительства, строительных растворов, сухих строительных смесей, минеральных вяжущих, смесей щебеночно-гравийно-песчаных для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов и материалов, обработанных неорганическими вяжущими для дорожного и аэродромного строительства, а также для получения минерального порошка».

Межгосударственный стандарт ГОСТ 9128–97 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон», разработанный Корпорацией «Трансстрой», Государственным дорожным научно-исследовательским и проектным институтом СоюздорНИИ РФ и введенный в действие в 1999 году, распространяется на асфальтобетонные смеси и асфальтобетон, применяемые для устройства покрытий и оснований автомобильных дорог, аэродромов, городских улиц и площадей, дорог промышленных предприятий в соответствии с действующими строительными нормами. Он допускает применение золы уноса и золошлаковых смесей в качестве минеральных порошков для пористого и высокопористого асфальтобетона, а также плотного асфальтобетона марок II и III. При этом нормируются такие основные показатели сырья, как:

- зерновой состав;
- пористость;
- водостойкость образцов из смеси порошка с битумом;
- показатель битумоемкости;
- потери при прокаливании;
- содержание активных окислов кальция и магния, а также водорастворимых соединений.

Межгосударственный стандарт ГОСТ 23558–94 «Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства», разработанный институтом СоюздорНИИ Госстроя России с участием ГипродорНИИ Госстроя России и ГосдорНИИ Минстройархитектуры Украины и введенный в действие в 1994 году, предусматривает применение в качестве вяжущего материала золу уноса с удельной поверхностью свыше $150 \text{ м}^2/\text{кг}$, содержанием сернистых и серноокислых соединений в пересчете на SO_3 не более 6 % и потерями при прокаливании не более 5 % по массе. Настоящий стандарт распространяется на щебеночно-гравийно-песчаные смеси и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, применяемые для устройства оснований, дополнительных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог и аэродромов.

ГОСТ 26644–85 «Щебень и песок из шлаков тепловых электростанций для бетона» (с изменениями от 2000 года), введенный в действие в 1987 году, распространяется на

щебень и песок из шлаков, образующихся при сжигании углей на тепловых электростанциях в топках котлов с жидким и твердым шлакоудалением. Требования устанавливаются к щебню и песку из шлаков, применяемым в качестве заполнителя для тяжелых и легких бетонов сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкций зданий и сооружений. При этом нормируются такие основные показатели сырья, как:

- зерновой состав;
- насыпная плотность;
- химический состав (потеря массы при прокаливании, содержание сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO_3 , содержание свободного кальция). Щебень должен обладать стойкостью против силикатного и железистого распада.

ГОСТ 30491–97 «Смеси органоминеральные и грунты, скрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства», разработанный СоюздорНИИ РФ и введенный в действие в 1997 году, допускает применение для дорожного и аэродромного строительства золы уноса и золошлаковые смеси.

В перечень основных нормативных документов и методических рекомендаций по применению зол и золошлаковых материалов в дорожном строительстве входят также:

- СНиП 2.05.02–85 «Автомобильные дороги. Госстрой СССР», 1986 г.;
- СНиП 3.06.03–85 «Автомобильные дороги. Госстрой России», 2000 г.;
- ВСН 182–91 «Нормы на изыскания дорожно-строительных материалов, проектирование и разработку притрассовых карьеров для автодорожного строительства». Минтрансстрой, 1992 г.;
- «Методические рекомендации по осушению земляного полотна и оснований дорожных одежд в районах избыточного увлажнения и сезонного промерзания грунтов». СоюздорНИИ, 1974 г.;

- «Рекомендации по применению активных зол уноса ТЭЦ РСФСР в качестве вяжущих для укрепления грунтов в основаниях дорожных одежд». ГипродорНИИ, 1974 г.;

- «Методические рекомендации по использованию золошлаковых смесей ТЭС для устройства укрепленных оснований и морозозащитных дорожных одежд». СоюздорНИИ, 1977 г.;

- «Методические рекомендации по укреплению грунтов и отходов промышленности вяжущими для устройства верхней части земляного полотна автомобильных дорог». СоюздорНИИ, 1979 г.;

- «Методические рекомендации по приготовлению местных шлаковых вяжущих для дорожного строительства». СоюздорНИИ, 1980 г.;

- «Методические рекомендации по использованию золошлаковых материалов для устройства оснований автомобильных дорог». СоюздорНИИ, 1981 г.;

- «Методические рекомендации по устройству щебеночных оснований, обработанных пескоцементной смесью». СоюздорНИИ, 1985 г.;

- «Методические рекомендации по определению экономически рациональной области использования отходов ТЭС и ГРЭС в дорожном строительстве». СоюздорНИИ, 1987 г.;

- «Методические рекомендации по использованию зол уноса от сжигания углей Канско-Ачинского топливно-энергетического комплекса для осушения верхней части земляного полотна и устройства оснований и морозозащитных слоев дорожных одежд». СоюздорНИИ, 1988 г.;

- «Методические рекомендации по разработке выемок в глинистых грунтах влажностью выше оптимальной и использованию этих грунтов для возведения насыпей автомобильных дорог во II и III дорожно-климатических зонах». СоюздорНИИ, 1988 г.;

- «Методические рекомендации по устройству дорожных одежд из грунтов и материалов, обработанных сланцевыми золами уноса в зимних условиях». СоюздорНИИ, 1989 г.;

- «Методические рекомендации по технологии сооружения земляного полотна из глинистых грунтов повышенной влажности в Нечерноземной зоне РСФСР». СоюздорНИИ, 1990 г.;

- «Методические рекомендации по применению в дорожном строительстве битумоминеральных смесей, содержащих сланцевую золу сухого отбора». СоюздорНИИ, 1990 г.;
- «Руководство по подбору и приготовлению нерудных материалов и грунтов, обработанных неорганическими вяжущими для дорожного строительства». СоюздорНИИ, 1991 г.;
- «Руководство по строительству оснований и покрытий автомобильных дорог из щебеночных и гравийных материалов». СоюздорНИИ, 1999 г.;
- «Методические указания применения золошлаковых смесей в земляном полотне автомобильных дорог Иркутской области». Одобрены Министерством автомобильного транспорта и дорожного хозяйства Иркутской области 30 декабря 2022 года;
- ГОСТ Р 70196–2022 «Дороги автомобильного пользования. Комплексные минеральные вяжущие для стабилизации и укрепления грунтов»;
- ГОСТ Р 70197.1–2022 «Дороги автомобильного пользования. Смеси органоминеральные холодные с использованием вторичного асфальтобетона. Общие технические условия»;
- ГОСТ Р 70452–2022 «Дороги автомобильные общего пользования. Грунты стабилизированные и укрепленные неорганическими вяжущими. Общие технические условия»;
- ГОСТ Р 70455–2022 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные, обработанные неорганическими вяжущими. Общие технические условия»;
- ГОСТ 32761–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Порошок минеральный. Технические требования»;
- ГОСТ 33174–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Цемент. Технические требования»;
- ГОСТ Р 59300–2021 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси бетонные для устройства слоев оснований и покрытий. Технические условия»;
- ОДМ 218.2.031–2013 «Методические рекомендации по применению золы уноса и золошлаковых смесей от сжигания угля на тепловых электростанциях в дорожном строительстве».

Таким образом, имеющиеся нормативные правовые и методические документы охватывают практически все отрасли экономики, где возможно применение ЗШО.

Утилизация золошлаковых отходов за рубежом

Проблемы с утилизацией ЗШО [10, 13, 39–42] существуют не только в странах, где энергетика базируется на угольной генерации, как, например, в Индии и Китае, но и вообще там, где невозможно обойтись без ископаемого твердого топлива, как, например, в Австралии, Индонезии, Бангладеш, Зимбабве, Казахстане, Лаосе, Турции, Пакистане, Вьетнаме и Японии. Уголь по-прежнему является востребованным энергетическим ресурсом [43]: в последнее десятилетие среднегодовой рост потребления угля в мире составил в среднем 2 %, в период 2016–2024 гг. потребление угля в мире выросло на 1,3 млрд тонн, то есть до 8,8 млрд тонн. Несмотря на различные пессимистические прогнозы, энергетический уголь еще долго будет востребован в качестве топлива в различных регионах, и прежде всего в странах Азии.

В одном из аналитических обзоров [39] собраны данные об образовании и утилизации ЗШО в различных регионах мира в 2010 и 2016 гг. (табл. 9). Нетрудно видеть, что лидирующие позиции по образованию ЗШО занимают три страны – Китай, Индия и США, причем с большим отрывом лидирует Китай, у которого значительное увеличение объемов образования ЗШО не повлияло на способность удерживать процент утилизации ЗШО на уровне 70 %. На втором месте в мире по образованию ЗШО находится Индия, где за 6 лет объем образованных ЗШО вырос почти вдвое, но при этом их утилизация подскочила с 13,8 до 67 %. Более 100 млн тонн ЗШО образовалось в эти годы в США. Объемы угольной генерации в этой стране постепенно снижаются, хотя это и не мешает там увеличивать

объем утилизации ЗШО. Аналогичный тренд можно наблюдать в странах Европейского союза (ЕС), где три страны (Австрия, Швеция и Бельгия) уже сумели реализовать 100 %-й отказ от угольной генерации, а также ряд государств публично задекларировали подобные планы.

Таблица 9

Объемы образования и утилизации ЗШО в мире [39]

Страна/регион	Образовано ЗШО, млн тонн		Утилизировано ЗШО, млн тонн		Доля утилизированных ЗШО, %	
	2010	2016	2010	2016	2010	2016
Австралия	13,1	12,3	6,0	5,4	45,8	43,9
Китай	395	565	265	396	67,1	70,1
Индия	105	197	14,5	132	13,8	67,0
Япония	11,1	12,3	10,7	12,3	96,4	100,0
Ближний Восток и Африка	32,2	32,2	3,4	3,4	10,6	10,6
Европейский Союз-15	52,6	40,3	47,8	38	90,9	94,3
США	118	107,4	49,7	60,1	42,1	56,0
Канада	6,8	4,8	2,3	2,6	33,8	54,2
Итого	760,4	992,6	404,4	655,6	53,2	66,0

Далее рассмотрим более подробно ситуацию с утилизацией ЗШО в Индии, Китае Японии, Австралии и США.

Индия

Индия относится к числу стран, энергетика которых вынужденно базируется на угле, поскольку его запасы в стране составляют около 300 млрд тонн, а других значимых источников энергии страна не имеет [40]. При том интенсивном экономическом развитии, которое характерно для Индии, потребление энергии в ней увеличивалось гигантскими темпами, и, следовательно, стремительно нарастали объемы образования ЗШО. Понимая, что относительно ограниченная территории страны не сможет вместить образующиеся отходы, которые при этом сильно загрязняют атмосферный воздух, почвы, поверхностные и подземные воды, правительство Индии в 1994 году создало [40] Миссию по проблеме утилизации золы уноса, работающую под руководством Департамента науки и технологий при тесном контакте с Министерством охраны окружающей среды и лесного хозяйства, Министерством энергетики и Министерством науки и технологий. При этом в деятельности Миссии основное внимание было уделено разработке и реализации демонстрационных проектов по утилизации ЗШО, которые можно было бы внедрять в больших масштабах по всей территории страны для производства различной полезной продукции.

Технологии утилизации золы уноса были разработаны [40] для широкого спектра применений, таких как производство кирпича, блоков, плитки, легких наполнителей, бетонов, цементов, легких золоблоков, панелей из искусственной древесины, композитных материалов, покрытий, катализаторов, биоудобрений, биопестицидов и т.д., для использования в сельском хозяйстве, рекультивации неудобий, заполнения шахт, строительства дорог, насыпей, дамб, использования в инфраструктурных проектах и т.д.

Была также создана сеть лабораторий и координационных центров, обеспечивавших техническое руководство и поддержку деятельности учреждений, занимавшихся по всей стране реализацией проектов по использованию технологий обращения с золой уноса. Все вместе это должно было убедить региональные власти, представителей промышленности, население, что проблема предотвращения негативного влияния ЗШО на окружающую среду имеет

вполне конкретное решение и что использование ЗШО может приносить значительный доход. Естественно, развивая эффективную и экономически оправданную технологическую базу по утилизации ЗШО, правительство Индии формировало и соответствующую законодательную и нормативную правовую базу, которая, с одной стороны, усиливала давление на все заинтересованные стороны, от которых зависело практическое решение задач в этой области, а с другой стороны, формировала различные стимулы для производителей.

Если вкратце охарактеризовать деятельность правительства Индии в сфере утилизации ЗШО, то ее основными принципами были:

- усиление надзора за всеми видами деятельности от образования ЗШО, их обработки, хранения и перемещения к потребителю до стадии утилизации, а также контроль цен в этой сфере;
- разработка и корректировка стандартов в области обращения с ЗШО;
- обеспечение внедрения мероприятий по улучшению качества золы уноса;
- обеспечение снижения транспортных расходов при перемещении ЗШО;
- информирование общественности и повышение осведомленности ключевых лиц, принимающих решения по этому вопросу.

Все ведомства и частные организации, занимающиеся прокладкой дорог, устройством дорожных и эстакадных насыпей, защитой береговой линии, производством строительных материалов для различных отраслей экономики, строительством сооружений в прибрежных районах и дамб и др. в радиусе 300 км от угольных ТЭС, должны были в обязательном порядке использовать ЗШО при условии, что:

- ЗШО будут доставлены на объект реализации проекта бесплатно и транспортные расходы будут оплачены ТЭС;
- ТЭС может взимать плату за отгрузку и транспортировку ЗШО на взаимосогласованных условиях (в случае, если ТЭС может использовать ЗШО в других проектах, то соответствующие ведомства и частные организации делают запрос на отгрузку ЗШО, и в этом случае их отгрузка и транспортировка является бесплатной, если ТЭС направляет соответствующее уведомление в строительное ведомство/организацию).

При подведении итогов деятельности Миссии было установлено (табл. 10), что за 20 лет в Индии создана разветвленная инфраструктура и производственная база для утилизации ЗШО, доля утилизируемых ЗШО выросла с 3 до 55 %, было создано более 1 млн рабочих мест, и прибыль производителей продукции из ЗШО составила 3 млрд долл. США.

Если теперь подвести итоги деятельности заинтересованных лиц и организаций, которые занимаются утилизацией ЗШО, то можно привести следующие данные [42]. За 25 лет, с 1996 по 2022 год, объем образования золы на угольных ТЭС Индии увеличился почти в 4 раза – с 69 млн до 270 млн тонн, а объем утилизации – в 39 раз: с 6,6 млн до 259 млн тонн, или с 9,6 до 96 % (табл. 11).

Таблица 10

Результат деятельности законодательных органов и правительства Индии по решению проблем утилизации ЗШО с 1994 по 2013 гг. [40]

Показатель	1994 (год учреждения Миссии)	2013 год
Утилизация золы уноса	1,0 млн т/год (3 % из 40 млн тонн произведенной золы уноса)	130 млн т/год (55 % из 235 млн тонн золы уноса, произведенной 120 муниципальными энергокомпаниями и около 80 ТЭС общей мощностью около 140 ГВт)
Количество центров (учреждений), работающих по проблеме золы уноса	Менее 10	Сотни

Окончание таблицы 10

Показатель	1994 (год учреждения Миссии)	2013 год
Число людей, работающих в области НИОКР по проблеме золы уноса	Десятки	Тысячи
Взаимосвязи между лабораториями и пользователями	Практически отсутствовали	Стал распространенным явлением обмен данными и опытом
Доверие к технологиям применения золы уноса	Отсутствовало	Широкое доверие
Статус коммерциализации технологий	Практически отсутствовали усилия по коммерциализации технологий или масштабное использование золы уноса	Прибыль более 3 млрд долл. США, более 1 млн новых рабочих мест, снижение выбросов CO ₂ в объеме более 75 млн т/год
Статус стандартов и протоколов (критично для устойчивого использования)	Устаревшие и непригодные для многих применений	Более 50 стандартов откорректировано и подготовлено

Таблица 11

Показатели деятельности угольных теплоэлектростанций Индии в 2022 году [41]

Показатель на 2022 год	Значение
Количество угольных ТЭС	200
Установленная мощность, млн кВт	213,6
Потребление угля, млн тонн	759
Образование золы уноса, млн тонн	270
Утилизация золы уноса, млн тонн	259 (96 %)
Объем ЗШО, накопленных на отвалах, млрд тонн	1,7

Существенная часть ЗШО в Индии утилизируется [39] за счет их использования в строительной отрасли. На производство строительных материалов (кирпичей, цемента, плитки) в 2018 году пришлось 51 % утилизированных ЗШО. На сегодняшний день химический состав золы уноса позволяет заменить 35 % массы цемента в бетонных смесях. На замену песку и гравия в дорожных насыпях и строительстве автомобильных дорог в 2018 году приходилось 10 и 5 % утилизированных ЗШО соответственно.

В сельском хозяйстве зола уноса используется [39] в основном для мелиорации земель, находящихся близко к уровню моря. В Индии в большей степени, чем в других странах, распространена проблема засоления почв. Для рекультивации таких земель требуются гидротехнические и агрохимические мелиорации. Поскольку зола уноса отличается сильными сорбирующими свойствами, она является эффективным средством для восстановления таких почв.

Китай

Серьезные изменения в области регулирования использования ЗШО произошли в Китае в 2010–2011 гг. Были одобрены [41] основные подходы к решению проблемы утилизации ЗШО, в перечень которых входило:

- формирование и распространение руководящих принципов в области комплексного использования золы уноса;

- оказание технической поддержки соответствующим ведомствам в разработке политики в области комплексной утилизации золы уноса;
- организация технического обмена и сотрудничества по организации комплексного использования золы уноса в стране и за рубежом;
- продвижение новых технологий комплексной утилизации золы уноса и продукции, полученной в ходе их реализации;
- организация оказания консультаций, услуг и обучения, связанных с комплексным использованием золы уноса;
- информирование о состоянии вопроса комплексного использования золы уноса, а также о предложениях и требованиях членов Управляющего комитета.

В 2010 году были утверждены руководящие принципы по утилизации золы уноса и введен ряд сопутствующих мер, таких как финансирование или налоговые льготы для проектов, использующих золу уноса. Затем был принят Двенадцатый пятилетний план Китая (2011–2015 гг.), в котором были предусмотрены мероприятия по комплексному использованию твердых промышленных твердых отходов, и который содержал целевой показатель по уровню использования образованной золы уноса (70 % от годового объема образования). В 2015 году правительство КНР отчиталось об успешном выполнении этого показателя.

В 2011 году Государственная налоговая администрация и Министерство финансов Китая ввели налоговые льготы (снижение или отмена НДС) для предприятий, которые перерабатывают ЗШО, образовавшиеся в процессе сжигания твердого топлива на ТЭС.

Bank of China начал выдавать кредиты на льготных условиях на покрытие капитальных затрат предприятий, производящих продукцию из ЗШО. В технопарках вблизи угольных ТЭС Китая, где разрабатывались технологии по утилизации ЗШО, был введен для резидентов особый налоговый режим.

Наибольшая доля ЗШО в Китае (около 90 %) утилизируется в строительной отрасли. В частности, ЗШО используются в производстве цемента, бетона и других строительных материалов. При этом использование ЗШО в качестве добавки в цемент и бетон в Китае практикуется с 1950-х годов с целью замещения некоторых глинистых материалов, кремнезема или глиноземсодержащих материалов. Добавление ЗШО в смесь для производства газобетонных блоков получило широкое распространение в связи с экономией энергии на термическую обработку материалов при реализации данной технологии.

Одним из перспективных направлений использования ЗШО в Китае сегодня является извлечение из них глинозема (оксида алюминия). Содержание оксида алюминия в золах углей, добытых на месторождениях в провинциях Восточная Монголия и Шаньси, составляет от 40 до 50 % от их общей массы, что делает их полноценным заменителем бокситов (наиболее распространенного источника глинозема в мире).

С 2011 года зола с высоким содержанием оксида алюминия включена в перечень приоритетного сырья для промышленного производства. На сегодняшний день в Китае уже функционирует более 10 зольно-глиноземных заводов. Самый большой из них расположен в алюминиевом технопарке при крупнейшей угольной станции в мире – ТЭС Тогто (провинция Внутренняя Монголия, мощность 6,7 ГВт). В год завод способен производить до 5 млн тонн глинозема из 15 млн тонн ЗШО, что в перспективе должно исключить импорт бокситов в Китай, который сейчас находится на уровне 12 млн тонн в год.

Основные направления использования золы уноса, помимо уже упомянутого производства строительных материалов, перечислены в табл. 12. Как следует из этих данных, достаточно много золы уноса используется для засыпки шахт. Относительно применения ЗШО в сельском хозяйстве сведения цитируемых источников расходятся, но, вероятно, более надежной является информация из работы [42], среди авторов которой присутствуют китайские специалисты.

Таблица 12

Различные направления утилизации золы уноса в Китае в 2022 г.

№	Направления использования	Использование, %	
		[42]	[41]
1	Производство строительных материалов (многокомпонентные вяжущие и материалы, добавки в цемент, кирпич, керамзит, газозолобетон и др.)	35	77,3
2	Дорожное строительство (битумные добавки для производства бетонов, материалы для покрытий, боковые насыпи и др.)	20	5,2
3	Строительство зданий/сооружений		10,3
4	Сельскохозяйственные цели (производство удобрений, улучшение качества земель и т.д.)	15	1
5	Закладка шахт или инженерная засыпка	15	6,2
6	Добавки в бетоны и строительные растворы	10	
7	Другие применения, например извлечение алюминия и др.	5	1

Китай неуклонно стремится [42] к повышению уровня утилизации ЗШО, чтобы выйти на 100%-ное их использование, однако это пока труднодостижимый показатель из-за значительного различия в экономической развитости отдельных регионов Китая, а также в географии самих источников образования и потребления золы уноса.

Например, в таких развитых районах, как Янцзы и Бохай, показатель утилизации золы уноса может достигать и до 100 %, а в неразвитой части Китая уровень использования золы достигает всего 30 %, хотя там иногда и наблюдается ее дефицит. При этом дефицит распространяется лишь на высококачественные золы, а низкокачественную золу практически никто не использует. Это также является [42] одной из основных проблем повышения уровня применения золы уноса. В целом максимальный показатель утилизации золы уноса достигается в тех районах, где наблюдается наибольшая концентрация строительных предприятий.

Как было отмечено ранее, выполнение Двенадцатого пятилетнего плана позволило достичь в Китае к 2015 году уровня утилизации ЗШО выше 70 %. Этот уровень удалось удерживать почти до 2020 года (табл. 13), но затем эпидемия ковида замедлила деятельность по утилизации ЗШО, хотя не остановила рост энергопроизводства.

В период с 1990 по 2022 год объем производства электроэнергии на угольных ТЭС Китая увеличился в 12,2 раза: с 441 млрд кВт·час до 5398 млрд кВт·час — и в 2022 г. составил 61 % общего объема производства электроэнергии энергосистемы страны [41]. За 22 года объем образования золы на угольных ТЭС Китая увеличился в 4,8 раза — с 138 млн до 660 млн тонн, а объем утилизации — в 4,4 раза, с 83 млн до 366 млн тонн (табл. 13), то есть он уменьшился до 55,5 %.

Таблица 13

Динамика утилизации золы уноса в Китае в 2016–2022 гг. [41]

Показатель	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Образовано ЗШО, млн тонн	500	519	550	585	597	651	660
Утилизировано ЗШО, млн тонн	360	374	391	404	413	409	366
Доля утилизированных ЗШО, %	72	72	71,1	69,1	69,2	62,8	55,5

Япония

В Японии проблема утилизации ЗШО, имея в виду ее весьма небольшую территорию при достаточно большом населении, стала актуальной еще в 80-е годы прошлого столетия. Япония является одним из крупнейших импортеров угля в мире, и для обеспечения энергобезопасности особое внимание было уделено развитию атомной энергетики. Таким образом, ожидалось существенное сокращение угольной генерации. Однако авария на АЭС Фукусима-1 в 2011 году стала причиной приостановки развития атомной энергетики и наращивания объемов угольной генерации. На сегодняшний день доля угольной энергии в общем объеме генерации составляет около 40 % [39].

Годовой объем образования ЗШО в Японии составляет [39] порядка 12–13 млн тонн. При этом Япония сумела достигнуть уровня утилизации ЗШО более 96 % еще к 2010 году, а в 2016 году этот показатель достиг 100 % [10, 39]. Большая часть вовлекаемых в хозяйственный оборот ЗШО приходится на строительную отрасль (85 %). Центр угольной энергетики Японии (Japan Coal Energy Center – JCOAL) регулярно актуализирует стратегию использования ЗШО в хозяйственной деятельности Японии. 80 % угольных ТЭС в Японии располагаются в прибрежных зонах, что позволяет доставлять ЗШО морским транспортом, существенно снижая себестоимость транспортировки.

Япония является одной из немногих стран, экспортирующих ЗШО в значительных объемах. В среднем за год из Японии вывозилось в Южную Корею до 1,3 млн тонн ЗШО. Поскольку расстояние между ближайшими портами Японии (Фукуока) и Кореи (Пусан) составляет 210 км, это весьма упрощало поставки. Еще несколько лет назад для перевозки ЗШО в год осуществлялось до 400 рейсов. Однако в 2019 году было объявлено, что объемы импорта золы уноса в Южную Корею придется сократить в связи с учащением случаев поставок ЗШО с высоким содержанием радионуклидов и тяжелых металлов.

Австралия

В 2018 году в Австралии для производства различной продукции и в иных целях было использовано [39] 5,94 млн тонн ЗШО, или 47 % от годового объема их образования. Этот уровень утилизации ЗШО был несколько выше (44–46 %), чем в предыдущие годы. При этом в Австралии наблюдается тренд на снижение спроса на уголь в качестве топлива для электростанций как результат проводимой правительством политики по увеличению доли возобновляемых источников энергии и реализации программы приватизации правительством субъектов электроэнергетики. В то же время, согласно данным Ассоциации развития золошлаковой индустрии Австралии (Ash Development Association of Australia – ADAA), спрос на производственные мощности для использования золы уноса с каждым годом растет.

На сегодняшний день в Австралии спрос на ЗШО значительно зависит от географического фактора. Вблизи крупных городов спрос на ЗШО достаточно велик и продолжает расти, что по большей части связано с необходимостью использования ЗШО для развития инфраструктуры городской застройки. В связи с этим особенно актуален вопрос оптимизации системы поставок ЗШО, от которой неизбежно зависит себестоимость утилизации. Актуальной является также проблема развития систем хранения ЗШО.

В 2018 году лишь чуть более 30 % утилизируемых ЗШО были использованы в производстве строительных материалов. Основная часть использованных ЗШО, или около 3,93 млн тонн (66 %), приходилась на обратную засыпку горных выработок и формирование насыпей, причем большая часть (60 %) размещалась в горных выработках. При этом значительная часть вовлеченных в утилизацию ЗШО состояла из сухой золы уноса, доля которой в образованных ЗШО достигала 88 %.

США

На сегодняшний день в США, несмотря на активное внедрение «зеленой» генерации, треть электроэнергии вырабатывается угольными электростанциями, на которых образуются

достаточно большие объемы ЗШО [39]. С 1968 года (American Coal Ash Association — АСАА) осуществляет мониторинг объемов образования и практик утилизации всех видов ЗШО.

Еще в 1983 году в США были приняты нормы об обязательном применении ЗШО в дорожном строительстве. Массовое использование ЗШО в строительстве дорог началось с 1986 года. Сейчас, чтобы стимулировать более широкое применение ЗШО, Федеральное агентство по охране окружающей среды, Министерство энергетики, Федеральное управление автомобильных дорог, а также Американская золошлаковая ассоциация и Группа по утилизации твердых коммунальных отходов совместно спонсируют «Партнерство использования продуктов сжигания угля». Проект предназначен для того, чтобы помочь строительным организациям и энергетическим компаниям оценить экологические преимущества и экономические последствия применения ЗШО в различных направлениях, а также стимулировать их утилизацию [44].

Совокупный экономический эффект в дорожном строительстве в США от использования ЗШО оценивается [39] в 5,2 млрд долл. ежегодно. Крупные фракции ЗШО часто используются в строительной отрасли в качестве наполнителя, заменяя гравий и песок. Котловой шлак, извлеченный из котлов старого поколения, имеет высокий спрос на предмет его использования в качестве пескоструйного очистителя и кровельных гранул. Но основным направлением применения ЗШО в США по-прежнему остается обратная засыпка шахт.

Для строительства в США используют как золу уноса, так и золу гидроудаления. Зола уноса используется в качестве замены портландцемента в бетоне и цементном растворе, в качестве заполнителя для дорожных оснований и насыпей. Использование ЗШО позволяет улучшить некоторые характеристики бетонов, в том числе повысить их прочность и увеличить долговечность готового бетонного изделия. Зола гидроудаления утилизируется в качестве заполнителя для бетона и холодных типов асфальтобетонов, а также в качестве структурного наполнителя для насыпей и цементных оснований для строительства дорог.

Очистка дымовых газов ТЭС от диоксида серы дает побочные продукты, одним из которых является гипс. Этот продукт не является золой, однако в США обращение с ним регулируется как с продуктом сжигания твердого топлива. Образующийся гипс широко применяется при производстве стен и перекрытий. Более половины гипсокартонных плит, произведенных в США, используют гипс от угольных электростанций. Помимо этого, гипс используется в сельском хозяйстве в качестве удобрения.

Использование золошлаковых отходов в России

Сведения, которые были приведены ранее, являются свидетельством того, что ЗШО и их компоненты, то есть зола уноса и золошлаковые смеси находят за рубежом широкое и самое различное применение — в дорожном строительстве, для производства строительных материалов, для выделения ценных металлических компонентов, для повышения плодородия почв, для ландшафтного дизайна, для ликвидации шахтных выработок и др. Хорошей рекламой достоинств ЗШО как компонентов строительных материалов является то, что многие известные высотные здания мира были построены [45, 46] с использованием бетона, произведенного с добавлением ЗШО, например:

- башня Бурдж Халифа высотой 830 метров (г. Дубай, ОАЭ), бетонный фундамент которой на 20 % состоит из золы уноса;
- башня The Shard высотой 305 метров (г. Лондон, Великобритания), где 50 % цемента было заменено золой уноса с высоким содержанием кальция;
- башня Пикассо высотой 170 метров (г. Мадрид, Испания).

Удивительно, но, имея почти неограниченные возможности использовать ЗШО, российские компании, производящие строительные материалы, осуществляющие строительные, дорожные и горные работы, практически не обращают внимания на это сырье. В развитых госу-

дарства за рубежом, даже в тех случаях, когда объем образования ЗШО намного выше, чем объем образования ЗШО в России, уровень полезного использования ЗШО, как правило, превышает 50 %, а может достигать и 100 %. В России же уровень утилизации ЗШО составляет всего 8,4 % [37], и в последние двадцать лет не было никаких намеков, что он может вырасти.

При этом следует отметить, что в России уже давно созданы условия, которые необходимы для широкомасштабного использования ЗШО. Во-первых, в стране проведено громадное число исследований по составу ЗШО, образующихся в разных регионах и на разных ТЭС, лабораторных, пилотных и полупромышленных испытаний по применению ЗШО в различных отраслях экономики, в том числе в дорожном строительстве, производстве строительных материалов, ландшафтном дизайне и др. Отдельные публикации, рассмотренные в этой главе [1–5, 7–13, 20, 47–57], дают лишь слабое представление о том огромном массиве научно-технической и инженерной информации, которая накоплена в нашей стране и которую можно достаточно быстро превратить в технологические решения и производственные комплексы. По некоторым оценкам [54], в результате этих исследований в Российской Федерации разработано более 300 технологий утилизации и переработки ЗШО, которые могут быть применены на разных предприятиях.

Во-вторых, сформирован большой массив нормативных правовых и методических документов, регулирующих различные применения ЗШО и устанавливающих требования к продукции, которую можно производить на основе ЗШО. Для разработки этих документов во многих случаях использован опыт Советского Союза, в котором ЗШО использовались в больших масштабах. В разделе «Регулирование обращения с золошлаковыми отходами» дан перечень основных документов этой категории и описание наиболее важных из них. В табл. 14 для примера показано, какими документами регламентируется производство некоторых изделий на базе ЗШО (преимущественно бетонов) и какими свойствами в этом случае должна обладать производимая продукция.

Таблица 14

Использование ЗШО для производства бетонов, силикатных изделий, строительных растворов, асфальтобетонных смесей [5]

Вид сырья, направление использования	Нормативный документ	Основные показатели качества получаемой продукции
Золошлаковая смесь ТЭС Заполнитель для тяжелых и легких бетонов, материал для изготовления силикатного кирпича	ГОСТ 25592–91 [58] ГОСТ 379–95 [59]	Характеризуется зерновым составом, насыпной плотностью, химическим составом, влажностью, устойчивостью структуры зерен шлака; лимитируется: содержание и размер зерен шлака, зерновой состав, удельная поверхность, влажность, насыпная плотность, химический состав, засоряющие примеси
Шлаки ТЭС Заполнители для бетонов (щебень и песок из шлаков), материал для изготовления силикатного кирпича (песок шлаковый), материал для приготовления строительных растворов (щебень и песок шлаковые)	ГОСТ 26644–85 [60] ГОСТ 379–95 [59] ГОСТ 28013–89 [61]	Шлаки разделяют по виду сжигаемых углей и плотности; щебень и песок из шлака характеризуются зерновым составом; ограничиваются: насыпная плотность, химический состав, устойчивость структуры, морозостойкость, наличие посторонних примесей

Вид сырья, направление использования	Нормативный документ	Основные показатели качества получаемой продукции
Зола уноса ТЭС сухого отбора Компонент для изготовления бетонов и строительных растворов, материал для изготовления силикатного кирпича	ГОСТ 25818–91 [58] ГОСТ 379–95 [59]	Применяют антрацитовые, каменноугольные, буроугольные кислые золы (содержание СаО до 10 %) и буроугольные основные золы (содержание СаО свыше 10 %); ограничиваются: влажность, удельная эффективная активность естественных радионуклидов; золы должны обеспечивать в смеси с цементом равномерность изменения объема
Зола ТЭС гидроудаления Компонент для изготовления тяжелых и легких бетонов и строительных растворов	ГОСТ 28013–89 [61] ГОСТ 25592–91 [62]	Содержание зерен шлака не более 10 %, размер зерен шлака не более 5 мм, влажность не более 40 %, насыпная плотность в сухом состоянии не более 1300 кг/м ³ , содержание SO ₃ не более 1 %, СаО+MgO в золе не более 10 %, в шлаке не более 1 %
Зола уноса ТЭС Кремнеземистый компонент для ячеистых бетонов	ГОСТ 25485–89 [63] ОСТ 21–60–84 [64]	SiO ₂ не менее 45 %, СаО не более 10 %, R ₂ O не более 3 %, SO ₃ не более 3 %; обычно пригодны золы каменных углей и антрацита
Зола ТЭС (высокоосновная) Вяжущие для ячеистых бетонов	ГОСТ 25485–89 [63] ОСТ 21–60–84 [64]	СаО не менее 40 %, в т. ч. свободной СаО не менее 16 %, SO ₃ не более 6 %, R ₂ O не более 3,5 %; обычно пригодны золы горючих сланцев и бурых углей
Зола уноса, золошлаковые смеси ТЭС Минеральный порошок в асфальтобетонные смеси	ГОСТ 9128–84 [65]	Лимитируются: зерновой состав, пористость, коэффициент водостойкости смеси порошка с битумом, показатель битумности, содержание водорастворимых соединений, свободной СаО, влажность
Золошлаковые отходы ТЭС Строительство автодорог, оснований аэродромов, укрепление обочин	ГОСТ 8267–93 [66] ГОСТ 25607–94 [67]	Щебень регламентируется: по зерновому составу, прочности, морозостойкости, содержанию зерен пластинчатой и игловатой формы, содержанию пылевидных и глинистых частиц, глины в комках и содержанию дробленых зерен в щебне из гравия, устойчивости структуры против распада

Наконец, следует иметь в виду, что хотя в больших масштабах многие из разработанных в последние десятилетия технологий применения пока не нашли, однако процесс утилизации ЗШО все-таки идет, поскольку золошлакоотвалы являются значительной экономической и экологической обузой для энергогенерирующих предприятий. Причем нередко используются технологии и производства, созданные еще в СССР. Далее приведены некоторые примеры, когда ЗШО используются вполне успешно, и это дает надежду, что ситуацию с применением этого сырья удастся переломить в лучшую сторону.

Так, с конца восьмидесятых годов в стране функционирует [68] Рефтинский завод газозолобетонных изделий, который был построен в 1989 году как непрофильное подразделение Рефтинской ГРЭС с целью переработки образующейся на предприятии золы уноса. Проектная мощность производства составила 145 тыс. м³ твинтблоков (ячеистого бетона) в год. В 2005 году предприятие было реорганизовано в ООО «Производственно-Строительное Объединение «ТЕПЛИТ». Производственные мощности объединения расположены в Свердловской области: в поселке Рефтинский и городе Березовский. Оба завода специализируются на выпуске мелких стеновых блоков из автоклавного газобетона широкой номенклатуры, используя современные методы производства. Общая производственная мощность заводов составляет 520 тыс. м³ изделий в год.

За период 1990–2014 гг. заводами ООО «ПСО «Теплит» было переработано 1,02 млрд тонн золы уноса Рефтинской ГРЭС, а с 2015 по 2022 год — еще 1,26 млн тонн золы уноса. С применением строительных материалов ООО «ПСО «Теплит» в г. Екатеринбурге построены следующие объекты:

- ЖК «Аквармарин», «Чемпион Парк», «Бриз», «Дегенин», «Орденосцев»;
- район загородных квартир «Ливерпуль»;
- перинатальный центр Свердловской области;
- арбитражный суд Свердловской области; и др.

АО «Ангарский цементно-горный комбинат» («Ангарскцемент») был построен в 1950 году. Изначально он был запроектирован под использование золошлаков в различных технологических процессах. В настоящее время «Ангарскцемент» перерабатывает ЗШО ТЭЦ-1 ПАО «Иркутскэнерго» [69]. С применением цемента «Ангарскцемент» были построены:

- Братская, Усть-Илимская, Вилюйская гидроэлектростанции (ГЭС);
- Северомуйский тоннель протяженностью 16 км (Республика Бурятия);
- взлетно-посадочная полоса аэропорта города Читы, рассчитанная на посадку пассажирских и тяжелых грузовых «Боингов»;
- автомобильные мосты на трассе Москва — Владивосток;
- железнодорожные мосты Байкало-Амурской магистрали;
- 3-й мост через Ангару в Иркутске;
- строительные объекты городов Ангарска, Братска, Шелехова, Мирного, Усть-Илимска.

В 2016 году ОАО «Стройтрансгаз» с использованием ЗШО Каширской ГРЭС построил [70] транспортную развязку и надземный путепровод в районе железнодорожной станции Жилево, 87-й километр железнодорожного перегона Михнево — Жилево в подмосковном Ступинском районе. Построенный объект представляет собой шестиполосное дорожное полотно (по три полосы в каждую сторону) длиной 105,7 метра, с максимальной высотой насыпи 14 метров. Вместе со съездами и участком главного хода автомобильной дороги общая протяженность строительства составила 3–4 км. Особенность объекта в том, что рядом проходят железнодорожные пути, то есть транспортная развязка постоянно подвергается динамической вибрационной нагрузке. Тем не менее сооружение до сих пор отвечает всем нормативным характеристикам.

В 2018 году был сдан в эксплуатацию [71] второй в новейшей истории России объект дорожного строительства, возведенный с использованием ЗШО, — транспортная развязка на пересечении Лыткаринского шоссе и магистрали М-5 «Урал» в Люберецком районе Московской области. Строительство этого объекта также осуществил ОАО «Стройтрансгаз», использовав для сооружения земельного полотна ЗШО с золошлакоотвала ТЭЦ-22 Мосэнерго. Особенность объекта в том, что часть съездов с развязки проходит по бывшей свалке ТКО, а в одном месте есть заболоченный участок с переувлажненным основанием.

ООО «Алексинский керамзитовый завод» (АКЗ) с 2015 года начал [72] переработку ЗШО с золошлакоотвала Алексинской ТЭЦ, основная эксплуатация которого была завершена

в 1968 году и составляет: площадь отвала 30 га, мощность слоя ЗШО 12 метров. В настоящее время АКЗ производит 4 основных вида продукции:

- МикроSil 40;
- МикроSil 80;
- МикроSil 630;
- концентрат магнетитовый.

Компаниями ГК «Росатом» совместно с Томским политехническим университетом и при поддержке Администрации Томской области разработана [73] технология переработки ЗШО, извлеченных из золошлакоотвалов Северской ТЭЦ, в строительные материалы, а также в материалы для дорожного строительства. В настоящее время ООО «Тэфра» из ЗШО Северской ТЭЦ производит 6 основных продуктов:

- минеральный порошок (зольная составляющая);
- полнотелые алюмосиликатные микросферы;
- концентрат угольного недожога;
- концентрат магнитной фракции (магнетит);
- шлаковый песок;
- шлаковый щебень.

ООО «Сибирская генерирующая компания» (СГК) использует ЗШО из принадлежащих ей гидрозолоотвалов для рекультивации нарушенных земель в Красноярском крае и Кемеровской области. В настоящее время СГК реализует [74] четыре проекта по рекультивации:

- отработанного опытно-промышленного участка «Ачинский» угольного разреза «Назаровский» в г. Назарове (Красноярский край);
- горных отвалов ликвидированной шахты «Байдаевская» (г. Новокузнецк, Кемеровская область);
- неэксплуатируемого золоотвала № 1 Ново-Кемеровской ТЭЦ (г. Кемерово, Кемеровская область);
- нарушенных земель в г. Минусинске (Красноярский край).

В результате на территории Красноярского края и Кемеровской области СГК было в сумме утилизировано более 7 млн тонн ЗШО:

- 1,33 млн тонн при рекультивации объекта в г. Назарове;
- 1,92 млн тонн при рекультивации объекта в г. Новокузнецке;
- 3,6 млн тонн при рекультивации объекта в г. Кемерове;
- 0,3 млн тонн при рекультивации объекта в г. Минусинске.

ООО «Сибирская генерирующая компания» (СГК) в 2017 году на двух участках в Новосибирской области осуществила [75] капитальный ремонт федеральной трассы Р-254 «Иртыш» (Челябинск – Курган – Омск – Новосибирск) с использованием ЗШО золошлакоотвалов Барабинской ТЭЦ (г. Куйбышев). В рамках проекта выполнено уширение земляного полотна с подъемом обочин и выполаживанием откосов.

Предприятия ГК «Основа Холдинг» перерабатывают в год около 230 тыс. тонн золы уноса, или 15 % от ежегодного объема образования ЗШО в Омской области. В Омске из кирпичей ООО «Сибирский эффективный кирпич» построены [75] торговые комплексы «Фестиваль» и «Флагман», жилые микрорайоны «Изумрудный берег», «Ласточкино», «Авангард» и др.

Производственное подразделение «Специальные материалы» (ПП «Специальные материалы») специализируется [76] на переработке ЗШО (золы уноса Беловской ГРЭС) в алюмосиликатные микросферы. Получаемый материал отличается низкой теплопроводностью, высокой жаропрочностью, и износостойкостью. Он находит применение в качестве минеральных наполнителей в нефтегазовой, химической, металлургической, строительной, автомобильной и других отраслях. При производстве алюмосиликатных микросфер в объеме

16 тыс. т в год на ПП «Специальные материалы» перерабатывается порядка 22 тыс. тонн легкой фракции золы уноса Беловской ГРЭС.

Компания «Технофлекс» в настоящее время перерабатывает [77] более 40 тыс. тонн золы уноса в год. Всего за время работы с 2007 года завод переработал 400 тыс. тонн золы уноса. Заводом «Технофлекс» за сутки отгружается потребителям до 120 большегрузных автомобилей с продукцией, а за год предприятие производит более 23 млн м² рулонных материалов с использованием золы уноса. Продукция предприятия поставляется по всей Сибири, на Дальний Восток, а также экспортируется в Казахстан, Монголию и Китай.

Заключение

Ежегодно в мире образуется около 1,4 млрд тонн ЗШО, среди лидеров – США (около 100 млн тонн), Индия (около 300 млн тонн) и Китай (около 700 млн тонн). Россия занимает, вероятно, «почетное» четвертое место с объемом образования около 25 млн тонн. Однако, когда речь идет об уровне утилизации ЗШО, то здесь Россия далеко отстает от развитых и развивающихся стран. По уровню полезного использования ЗШО лидирует Япония (100%), в странах Европейского союза этот показатель в среднем составляет около 95%, Индия и Китай утилизируют до 70% образовавшихся ЗШО, уровень утилизации ЗШО в США, Австралии, Канаде составляет 45–55%. При этом, несмотря на увеличение объемов образования ЗШО, уровень их утилизации почти повсеместно растет. На этом фоне Россия выглядит достаточно неприглядно – в ее экономике используется лишь 8,4% образовавшихся ЗШО, причем никаких особых сдвигов в этой области пока не наблюдается.

В результате в настоящее время суммарный объем ЗШО, накопленных в золошлакоотвалах в России, составляет около 1,7 млрд тонн, а общая площадь, занимаемая этими объектами, превышает 220 км². Поскольку на тепловых электростанциях России объем ежегодного образования ЗШО составляет около 25 млн тонн, то при нынешнем отношении к утилизации ЗШО золошлакоотвалы будут только разрастаться.

Неуклонный рост объемов ЗШО в золошлакоотвалах чреват значительными экономическими и экологическими рисками. Воздействие полигонов с ЗШО на окружающую среду весьма ощутимо – они загрязняют атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвы и земли, оказывают негативное влияние на животных и растительность. Поскольку многие золошлакоотвалы находятся либо в населенных пунктах, либо в непосредственной близости от них, то их присутствие сказывается и на здоровье населения. С другой стороны, предприятия, в чьем ведении находятся золошлакоотвалы, несут существенные экономические расходы по их содержанию и вынуждены платить значительные суммы за негативное воздействие этих объектов на окружающую среду.

Но есть еще одно обстоятельство, почему размещение ЗШО на полигонах и многолетнее их хранение граничит с экономическим абсурдом. Большой мировой и еще относительно ограниченный российский опыт показывает, что ЗШО может использоваться [78] в самых различных отраслях экономики. Во-первых, ЗШО и отдельно зола уноса и шлаки пригодны для производства различных строительных материалов. Зола уноса может быть использована:

- для изготовления керамических материалов (тротуарной и облицовочной плитки, кирпича, дренажных труб, изделий из керамзита, гончарных изделий и др.);
- для изготовления различных сортов цемента;
- в качестве заполнителя бетона;
- в качестве добавки в клинкер;
- при производстве ячеистого бетона;
- при производстве пористых заполнителей (безобжиговый гравий, азерит, зольный гравий и др.);
- при производстве силикатного кирпича;
- как наполнитель полимерных материалов.

Шлаки могут быть использованы:

- при производстве ячеистого бетона;
- при производстве пористых заполнителей (азерит и др.);
- при производстве минеральной ваты;
- при производстве шлаковой пемзы;
- в каменном литье;
- при производстве ситаллов.

Кроме того, различные компоненты ЗШО могут быть использованы:

- для ландшафтного дизайна, общестроительных работ, устройства насыпей и дамб, засыпки горных выработок, рекультивации неудобий и др.;
- в дорожном строительстве для устройства дорожных оснований и одежд;
- взамен минерального порошка и частично песка при приготовлении асфальтобетона;
- в качестве изолирующего материала на полигонах по размещению ТКО и промышленных отходов;
- для улучшения качества почв.

ЗШО может также содержать редкоземельные металлы, включая гафний, ниобий, скандий, теллур, галлий, германий, стронций, ванадий, цирконий, которые являются сырьем при производстве микроэлектроники, лазеров, оптических преобразователей, высокотемпературных сверхпроводников и др. В Китае и Польше из ЗШО извлекают глинозем, а в Канаде — уран.

Анализируя ситуацию с использованием ЗШО в России, можно сделать однозначный вывод, что в стране нет эффективных административных и экономических механизмов, которые могли бы заставить и производителей ЗШО и их потенциальных потребителей активно включиться в решение этой долговременной болезненной проблемы. Обращаясь к опыту зарубежных стран, можно предложить пустить в ход следующие административные и экономические рычаги:

- обязать предприятия, использующие в качестве энергоносителя твердое топливо, использовать преимущественно систему сухого золошлакоудаления, поскольку образующиеся в этом случае отходы намного легче использовать в качестве сырья для производства различной продукции;
- значительно увеличить плату за размещение ЗШО;
- обязать предприятия, которые могут использовать для строительных и иных работ ЗШО, и которые находятся в относительной близости (например, в пределах 100 км) от генерирующих мощностей, использовать в качестве сырья преимущественно ЗШО при условии бесплатной поставки им этого сырья;
- создать льготный налоговый режим или иные экономические преференции для производителей, которые используют на своих предприятиях ЗШО.

Список литературы

1. Мелентьев В.А. Золошлаковые материалы. М.: Энергия, 1978. 255 с.
2. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р., Добронравов А.Д., Шамсутдинов Э.В. Комплексное использование золошлаковых отходов // Изв. вузов. Проблемы энергетики. 2015. № 7–8. С. 26–36.
3. Черепанов А.А., Кардаш В.Т. Комплексная переработка золошлаковых отходов ТЭЦ (результаты лабораторных и полупромышленных испытаний) // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2009. № 2. С. 98–115.
4. Путилин Е.И., Цветков В.С. Применение зол уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог: обзорная информация // Гос. служба дор. хоз-ва Мин-ва транспорта РФ. Информационный центр по автомобильным дорогам. М. 2003. 60 с.
5. Шубов Л.Я., Скобелев К.Д., Загорская Д.А. Вторичные ресурсы, образующиеся в сфере теплоэнергетики. С. 649–669 // Энциклопедия технологий. Эволюция и сравнительный анализ ресурсной эффективности промышленных технологий / под ред. Д.О. Скобелева, ФГАУ «НИИ «ЦЭПП». М.; СПб.: Реноме, 2019. 824 с.

6. ГОСТ 32347–2013. Угли каменные и антрациты Кузнецкого и Горловского бассейнов для энергетических целей. Технические условия.

7. Мальчик А.Г., Литовкин С.В., Родионов П.В. Исследование технологии переработки золошлаковых отходов ТЭС при производстве строительных материалов // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 3–1. С. 60–64.

8. Карманова А.М. Исследование золошлаковых отходов Томской ГРЭС-2 как материала для утилизации // XXI Международная научная конференция «Современные техника и технологии». Секция 1: Устойчивая энергетика. 2015. С. 75–77.

9. Бижанов А.М., Макавецкас А.Р. Рудоуглеродные брикеты на основе продуктов переработки // Кокс и химия. 2024. № 4. С. 43–49.

10. Размахнин К.К., Хатькова А.Н., Шумилова Л.В., Номоконова Т.С. Технология переработки и обогащения золошлаковых отходов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 10. С. 122–135.

11. Парфенова Л.М., Бозылев В.В., Шведов А.П., Высоцкая М.Н. Режимы и способы активации золошлаковых отходов тепловых электростанций // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Серия F: Строительство. Прикладные науки. 2016. № 8. С. 57–60.

12. Лебедев В.В., Рубан В.А., Шпирт М.Я. Комплексное использование углей. М.: Недра, 1980. 239 сс.

13. Таскин А.В. Химико-технологические решения комплексной переработки золошлаковых отходов промышленности / Автореф. дис. на соискание уч. ст. канд. хим. наук. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет». Владивосток, 2018. 208 с.

14. ГОСТ 25818–91. Межгосударственный стандарт. Зола уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия. Дата введения: 1991-07-01.

15. Руководство по проектированию золоотвалов тепловых электрических станций. Л.: Энергия, 1974. 134 с.

16. Сысоев Ю.М., Кузнецов Г.И. Проектирование и строительство золоотвалов. М.: Наука, 1982. 243 с.

17. РД 153-34.0-02.106–98. Методика расчетной оценки ветровой эрозии и пыления золоотвала ТЭС. Екатеринбург: ОАО «УралОРГРЭС», 1998.

18. Кучеров Ю.Н. Основные проблемы и направления развития электроэнергетики России // Экология энергетики 2000: мат-лы международной науч.-практ. конф. М.: МЭИ, 2000. С. 14–21.

19. Черенцова А.А. К вопросу об оценке воздействия золоотвала Хабаровской ТЭЦ-3 на почвенный покров // Экономика и экологический менеджмент (электронный научный журнал). Вып. № 2 (сентябрь). 2011. С. 6.

20. Черенцова А.А., Майорова Л.П. Проблемы и перспективы утилизации золошлаковых отходов. Хабаровск: ТОГУ, 2013. 111 с.

21. Черенцова А.А., Майорова Л.П. Влияние полигонов захоронения золошлаковых отходов тепловых электростанций на окружающую среду (на примере Хабаровской ТЭЦ-3) // Вестник Тихоокеанского гос. ун-та. 2015. № 3. С. 49–58.

22. Черенцова А.А. Оценка влияния золоотвала Хабаровской ТЭЦ-3 на компоненты окружающей среды // Ученые заметки. ТОГУ. 2012. Т. 3. № 1. С. 29–42.

23. Ларионова Н.А. Оценка влияния золоотвалов на загрязнение окружающей среды // Мат-лы 9-й Международной науч.-практ. конф. Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире («Геориск-2015»). С. 297–302.

24. Бочаров В.Л., Крамарев П.Н., Строгонова Л.Н. Геоэкологические аспекты прогноза изменения окружающей среды в районах полигонов захоронения золошлаковых отходов электростанций // Вестник Воронежского гос. ун-та. Серия: геология. 2005. № 1. С. 233–239.

25. Шайхутдинова А.А., Мещеряков А.Г., Немерешина О.Н. Экологические проблемы хранения отходов теплоэлектростанций, работающих на твердом топливе // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2011. № 2. С. 252–255.
26. Боричев К.П., Орлов А.В., Путилов В.Я., Путилова И.В. Влияние золошлакоотвалов на окружающую среду // Мат-лы конф. «Экология энергетики 2000». М.: МЭИ, 2000. С. 193–197.
27. Радомский С.М., Миронюк А.Ф., Радомская В.И., Лукичев А.А. Экологические проблемы золошлакоотвала Благовещенской ТЭЦ // Экология и промышленность России. Март, 2004. С. 28–31.
28. Футорянский Л.Д. Геоэкологические критерии оптимального размещения золошлакоотвалов ТЭС в природных условиях среднего Урала / Автореф. дис. на соискание уч. ст. канд. геол.-минер. наук. Екатеринбург, 2008. 26 сс.
29. Оценка воздействия проектируемого золоотвала Железногорской ТЭЦ на атмосферный воздух. URL: <https://works.doklad.ru/view/mfmm0mNc7Cw.html> (дата обращения: 22.04.2025).
30. Курдов А.Г., Дмитриева В.А. Воронежское водохранилище: 30 лет спустя // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Географ. и геоэкол. 2002. № 1. С. 124–127.
31. Смирнова А.Я., Бочаров В.Л. Водные экосистемы промышленно-городских агломераций бассейна Верхнего Дона // Вестник Воронеж. ун-та. Сер.: Геология. 1997. № 3. С. 102–105.
32. Радомская В.И., Радомский С.М. Характер влияния Благовещенской ТЭЦ на окружающий ландшафт // Проблемы безопасности жизнедеятельности в техносфере // Мат-лы межрегиональной конф. молодых ученых. 2004. С. 116–117.
33. Иваныкина О.В., Журавлева Н.В. Изучение распределения тяжелых металлов в системе отходы – вода – почва для золошлаковых отвалов Кемеровской области // Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия в Кузбассе: сб. докладов Международной науч.-практ. конф. 2008. С. 151–157.
34. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2010 г. (под ред. В.М. Шихалева). Хабаровск, 2011. 267 с.
35. Душкова Д.О., Евсеев А.В. Анализ техногенного воздействия на геосистемы Европейского Севера России // Арктика и Север: электронное периодическое издание. 2011. № 4 (ноябрь). С. 162–195.
36. Bradley E. Sample, Glenn W. Suterr. Screening Evaluation of the Ecological Risks to Terrestrial Wildlife Associated with a Coal Ash Disposal Site. Human & Ecological Risk Assessment. 2002. Vol. 8. Issue 4. P. 637.
37. Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р (ред. от 28.02.2024) «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года».
38. Распоряжение Правительства РФ от 02.08.2023 № 2094-р «Об утверждении перечня видов продукции (товаров), производство которых осуществляется с использованием определенной доли вторичного сырья в их составе и в отношении которых осуществляется стимулирование деятельности по их производству, и перечня видов работ, услуг, выполнение и оказание которых осуществляется с использованием определенной доли вторичного сырья в их составе и в отношении которых осуществляется стимулирование деятельности по их выполнению».
39. Золотова И.Ю. Бенчмаркинг зарубежного опыта утилизации продуктов сжигания твердого топлива угольных ТЭС // Инновации и инвестиции. 2020. № 7. С. 123–128.
40. Кумар В., Джа Г.К. Анализ законодательства Индии в области обращения с золошлаками энергетики // Мат-лы V конф. «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование». Москва, 24–25 апреля 2014 г. М.: Полиграфический центр МЭИ, 2014. С. 22–26.
41. Путилова . Опыт реализации проектов с использованием золошлаков ТЭС в России и за рубежом // Альтернативная энергетика и экология. 2023. № 3. С. 49–68.
42. Лесовик Г.А. О перспективах использования зол уноса в газобетоне // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2022. Т. 7. № 10.

43. О прогнозе развития мировой угольной промышленности. URL: https://vk.com/wall-220176382_88 (дата обращения: 22.04.2025).
44. Lindon K.A. Properties and use of coal fly ash: Use of fly ash for road construction, runways and similar projects. London, 2015. 132 p.
45. Aldred J. Burj Khalifa – a new high for high-performance concrete // Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering. Thomas Telford Ltd, 2010. Т. 163. № 2. Р. 66–73. 5. Urban T. et al.
46. Experimental investigations on punching shear of lightweight aggregate concrete flat slabs // Engineering Structures, 2019. Т. 197. Р. 109371
47. Иванов К.С., Иванов Н.К. Использование шлаков и зол при получении газобетона // Известия вузов. Строительство. 2004. № 9 (549). С. 26–30.
48. Крашенинников О.Н., Пак А.А., Бастрыгина С.В. Использование золоотходов для получения бетонов // Экология промышленного производства. 2007. № 2. С. 48–56.
49. Соловьев Л.П., Пронин В.А., Пронин С.В., Тузовская Ф.Ф. Извлечение ферромагнитных материалов из золошлаковых отходов Кузнецкой ТЭЦ // Экология и промышленность России. 2009. С. 34–35.
50. Путилов В.Я., Путилова И.В. Проблемы обращения с золошлаками ТЭС в России: барьеры, возможности и пути решения // Теплоэнергетика. 2010. № 4. С. 63–66.
51. Коваль Т.В., Айзенберг И.И. Использование в строительстве золошлаковых материалов, попутно получаемых в котлах источников системы теплоснабжения // Вестник ИргТУ. 2010. № 5 (45). С. 94–102.
52. Ахмедов М.М., Валиев Б.С., Кадырова Г.А., Гейдаров А.А. Извлечение ванадия из золы от сжигания мазута // Химическая промышленность. 2011. № 2. С. 18–24.
53. Салихов В.А. Геолого-экономическая и экономическая (стоимостная) оценка цветных и редких металлов, содержащихся в углях и золошлаковых отходах углей // Вестник Томского гос. ун-та. Экономика. 2014. № 1 (25). С. 123–138.
54. Косарев А.С., Смолий В.А., Скориков. Оценка возможности использования золошлаковых отходов теплоэнергетики при производстве гранулированного пористого заполнителя для легких бетонов и теплоизоляционных засыпок // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2018. № 4. С. 111–117.
55. Зверева Э.Р., Плотникова В.П., Бурганова Ф.И. и др. Комплексный метод утилизации золошлаковых отходов тепловых электростанций // Вестник Казанского гос. энергетич. ун-та. 2019. № 2. С. 1527.
56. Сниккарс П.Н., Золотова И.Ю., Осокин Н.А. Утилизация золошлаков ТЭС как новая кросс-отраслевая задача // Энергетическая политика. 2020. № 7 (149). С. 34–45.
57. Слободчикова Н.А., Плюта К.В. Исследование возможностей применения золошлаковых материалов для строительства земляного полотна автомобильных дорог на примере Иркутской области // Сборник: Дороги и мосты. 2023. Т. 49. № 1. С. 223–237.
58. ГОСТ 25818–91. Золы уноса тепловых электростанций и бетонов. Технические условия.
59. ГОСТ 379–95. Кирпич и камни силикатные. Технические условия.
60. ГОСТ 26644–85. Щебень и песок из шлаков тепловых электростанций для бетона. Технические условия.
61. ГОСТ 28013–89. Растворы строительные. Общие технические условия.
62. ГОСТ 25592–91. Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия.
63. ГОСТ 25485–89. Бетоны ячеистые. Технические условия.
64. ГОСТ 21–60–84. Зола-унос для производства изделий из ячеистого бетона. Технические условия.
65. ГОСТ 9128–84. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия.

66. ГОСТ 8267–93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.

67. ГОСТ 25607–94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия.

68. Сайт компании. URL: <https://arvis.online/materials/cases/reftinskij-zavod-gazozolobetonnyh-izdelij-utiliziruet-zolu-unosa-reftinskoj-gres> (дата обращения: 22.04.2025). Производство цемента с использованием золошлаков в Иркутской области. URL: <https://arvis.online/materials/cases/opyt-ao-angarsk-cement-po-utilizaczii-zoloshlakov-tes-oao-irkutskenergo> (дата обращения: 22.04.2025).

69. Строительство транспортной развязки и надземного путепровода в Московской области с использованием золошлаковых материалов. URL: <https://arvis.online/materials/cases/utilizaczija-zoloshlakov-kashirskoj-gres> (дата обращения: 22.04.2025).

70. Строительство автодорожной развязки в Московской области с использованием золошлаковых материалов. URL: <https://arvis.online/materials/cases/utilizaczija-zoloshlakov-tecz-22-mosenergo> (дата обращения: 22.04.2025).

71. Производство минеральных добавок в строительные материалы из золошлаков в Тульской области. URL: <https://arvis.online/materials/cases/utilizaczija-psst-zsho-s-zolootvala-aleksinskoj-tecz> (дата обращения: 22.04.2025).

72. Высокотехнологичная установка по переработке золошлаков Северской ТЭЦ в Томской области. URL: <https://arvis.online/materials/presentation> (дата обращения: 22.04.2025).

73. Рекультивация нарушенных земель с применением золошлаков в Красноярском крае и Кемеровской области. URL: <https://arvis.online/materials/cases/rekultivaczija-narushennyh-zemel-s-primeneniem-zoloshlakov-opyt-sibirskoj-generiruyushhej-kompanii> (дата обращения: 22.04.2025).

74. Ремонт автомобильной дороги с использованием золошлаковых материалов в Новосибирской области. URL: <https://arvis.online/materials/cases/remont-dorogi-s-primeneniem-zoloshlakov-barabinskoj-tecz-sibirskaya-generiruyushhaya-kompaniya> (дата обращения: 22.04.2025).

75. Производство строительных материалов с использованием золы уноса в Омской области. URL: <https://arvis.online/materials/publications> (дата обращения: 22.04.2025).

76. Изготовление алюмосиликатных микросфер из золошлаков в Кемеровской области. URL: <https://arvis.online/materials/cases/izgotovlenie-alyumosilikatnyh-mikrosfer-iz-zoloshlakov-belovskoj-gres> (дата обращения: 22.04.2025).

77. Производство рулонных гидроизоляционных материалов с использованием золы уноса в Кемеровской области. URL: <https://arvis.online/materials/cases/zavod-tehnofleks-ispolzuet-zolu-unosa-v-proizvodstve-rulonnyh-gidroizolyaczionnyh-materialov> (дата обращения: 22.04.2025).

78. От отходов угольных электростанций к производству строительных материалов. URL: <https://energypolicy.ru/ot-othodov-ugolnyh-elektrostantszij-k-proizvodstvu-stroitelnyh-materialov/ugol/2021/14/28/?ysclid=m6zg0bcnqr766128983> (дата обращения: 22.04.2025).

References

1. Melentyev V.A. (1978) *Zoloshlakovyje materialy* [Ash and slag materials. V.A. Melentyev] *Energiya* [Energy]. Moscow. 255 P.
2. Afanasyeva O.V., Mingaleeva G.R., Dobronravov A.D., Shamsutdinov E.V. (2015) *Kompleksnoe ispol'zovanie zoloshlakovykh otkhodov* [Complex use of ash and slag waste] *Izv. vuzov. Problemy energetiki* [News of Universities. Problems of Energy]. No. 7–8. P. 26–36.
3. Cherepanov A.A., Kardash V.T. (2009) *Kompleksnaya pererabotka zoloshlakovykh otkhodov TETs (rezul'taty laboratornykh i polupromyshlennykh ispytaniy)* [Complex processing of ash and slag waste of thermal power plants (results of laboratory and pilot tests)] *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana* [Geology and useful minerals of the World Ocean]. No. 2. P. 98–115.
4. Putilin E.I., Tsvetkov V.S. (2003) *Primenenie zol unosa i zoloshlakovykh smesey pri stroitel'stve avtomobil'nykh dorog: obzornaya informatsiya* [Informatsionnyy tsentr po avtomobil'nym dorogam. The use of fly ash and ash-slag mixtures in the construction of highways: overview information] *Gos. sluzhba dor. khoz-va Min-va transporta RF* [State road service of the Ministry of Transport of the Russian Federation. Information center for highways]. Moscow. 60 P.

5. Shubov L.Ya., Skobelev K.D., Zagorskaya D.A. (2019) *Vtorichnye resursy, obrazuyushchiesya v sfere teploenergetiki* [Secondary resources generated in the field of thermal power engineering] *Entsiklopediya tekhnologii. Evolyutsiya i sravnitel'nyy analiz resursnoy effektivnosti promyshlennykh tekhnologiy, pod red. D.O. Skobeleva, FGAU «NII «TsEPP» Renome* [In the Encyclopedia of technologies. Evolution and comparative analysis of resource efficiency of industrial technologies. Ed. by D.O. Skobelev, FGAU «Research Institute» «Renome»]. P. 649–669 of 824 p.
6. GOST 32347–2013. *Ugli kamennye i antratsity Kuznetskogo i Gorlovskogo basseynov dlya energeticheskikh tseley. Tekhnicheskie usloviya* [GOST 32347–2013 «Hard coals and anthracites of the Kuznetsk and Gorlovsky basins for energy purposes. Technical conditions»].
7. Mal'chik A.G., Litovkin S.V., Radionov P.V. (2016) *Issledovanie tekhnologii pererabotki zoloshlakovykh otkhodov TES pri proizvodstve stroitel'nykh materialov* [Study of the technology of processing ash and slag waste of thermal power plants in the production of building materials] *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern science-intensive technologies]. No. 3–1. P. 60–64.
8. Karmanova A.M. (2015) *Issledovanie zoloshlakovykh otkhodov Tomskoy GRES-2 kak materiala dlya utilizatsii* [Study of ash and slag waste of Tomsk GRES-2 as a material for disposal] *XXI Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya «Sovremennye tekhnika i tekhnologii». Sektsiya 1: Ustoychivaya energetika* [XXI International Scientific Conference «Modern Engineering and Technology». Section 1: Sustainable Energy]. P. 75–77.
9. Bizhanov A.M., Makavetzkas A.R. (2024) *Rudouglerodnye brikety na osnove produktov pererabotki* [Ore-carbon briquettes based on processed products] *Koks i khimiya* [Coke and Chemistry]. No. 4. P. 43–49.
10. Razmakhnin K.K., Khatkova A.N., Shumilova L.V., Nomokonova T.S. (2023) *Tekhnologiya pererabotki i obogashcheniya zoloshlakovykh otkhodov* [Technology of processing and enrichment of ash and slag waste] *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining information and analytical bulletin]. No. 10. P. 122–135.
11. Parfenova L.M., Bozylev V.V., Shvedov A.P., Vysotskaya M.N. (2016) *Rezhimy i sposoby aktivatsii zoloshlakovykh otkhodov teploelektrostantsiy* [Modes and methods of activating ash and slag waste from thermal power plants] *Vestnik Polotskogo gos. un-ta. Seriya F: Stroitel'stvo. Prikladnye nauki* [Bulletin of Polotsk State University. Series F: Construction. Applied Sciences]. No. 8. P. 57–60.
12. Lebedev V.V., Ruban V.A., Shpirt M.Ya. (1980) *Kompleksnoe ispol'zovanie ugley* [Complex use of coals] *Nedra* [Nedra]. Moscow. 239 P.
13. Taskin A.V. (2018) *Khimiko-tekhnologicheskie resheniya kompleksnoy pererabotki zoloshlakovykh otkhodov promyshlennosti* [Chemical-technological solutions for the complex processing of ash and slag waste from industry] *Avtoref. dis. na soiskanie uch. st. kand. khim. nauk. Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Dal'nevostochnyy federal'nyy universitet»* [Abstract of the dissertation for the degree of candidate of chemical sciences. Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Far Eastern Federal University»]. Vladivostok. 208 P.
14. GOST 25818–91. *Mezhgosudarstvennyy standart. Zoly unosa teplovykh elektrostantsiy dlya betonov. Tekhnicheskie usloviya. Data vvedeniya: 1991-07-01* [GOST 25818–91. Interstate standard. Fly ash from thermal power plants for concrete. Technical conditions (date of access 01-07-1991)].
15. *Rukovodstvo po proektirovaniyu zolootvalov teplovykh elektricheskikh stantsiy* [Guide to the design of ash dumps of thermal power plants] *Energiya* [Energy]. 1974. 134 P.
16. Sysoev Yu.M., Kuznetsov G.I. (1982) *Proektirovanie i stroitel'stvo zolootvalov* [Design and construction of ash dumps] *Nauka* [Nauka]. 243 P.
17. RD 153-34.0-02.106–98. *Metodika raschetnoy otsenki vetrovoy erozii i pyleniya zolootvala TES. OAO «UralORGRES»* [RD 153-34.0-02.106–98. Methodology for calculating the assessment of wind erosion and dusting of ash dumps of thermal power plants. JSC UralORGRES]. Ekaterinburg. 1998.
18. Kucherov Yu.N. (2000) *Osnovnye problemy i napravleniya razvitiya elektroenergetiki Rossii* [The main problems and directions of development of the electric power industry of Russia] *Ekologiya energetiki 2000: mat-ly mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konf. MEI* [Ecology of Energy 2000: materials of the international. scientific and practical conference MPEI]. Moscow. P. 14–21.
19. Cherentsova A.A. (2011) *K voprosu ob otsenke vozdeystviya zolootvala Khabarovskoy TETs-3 na pochvennyy pokrov* [On the assessment of the impact of the ash dump of Khabarovsk CHPP-3 on the soil cover] *Ekonomika i ekologicheskiy menedzhment (elektronnyy nauchnyy zhurnal)* [Economy and environmental management (electronic scientific journal)]. Issue. No. 2 (September). 2011. P. 6.

20. Cherentsova A.A., Mayorova L.P. (2013) *Problemy i perspektivy utilizatsii zoloshlakovykh otkhodov* [Problems and prospects of ash and slag waste utilization]. Khabarovsk. TOGU. 111 P.
21. Cherentsova A.A., Mayorova L.P. (2015) *Vliyanie poligonov zakhoroneniya zoloshlakovykh otkhodov teploelektrostantsiy na okruzhayushchuyu sredu (na primere Khabarovskoy TETs-3)* [Impact of ash and slag waste disposal sites of thermal power plants on the environment (on the example of Khabarovsk CHPP-3)] *Vestnik Tikhookeanskogo gos. un-ta* [Bulletin of the Pacific State University]. No. 3. P. 49–58.
22. Cherentsova A.A. (2012) *Otsenka vliyaniya zolootvala Khabarovskoy TETs-3 na komponenty okruzhayushchey sredy* [Assessment of the impact of the ash dump of Khabarovsk TPP-3 on environmental components] *Uchenye zametki. TOGU* [Scientific notes. TOGU]. V. 3. No. 1. P. 29–42.
23. Larionova N.A. (2015) *Otsenka vliyaniya zolootvalov na zagryaznenie okruzhayushchey sredy* [Assessment of the impact of ash dumps on environmental pollution] *Mat-ly 9-y Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konf. Analiz, prognoz i upravlenie prirodnymi riskami v sovremennom mire («Georisk-2015»)* [Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference. Analysis, Forecast and Management of Natural Risks in the Modern World (Georisk-2015)]. P. 297–302.
24. Bocharov V.L., Kramarev P.N., Stroganova L.N. (2005) *Geoekologicheskie aspekty prognoza izmeneniya okruzhayushchey sredy v rayonakh poligonov zakhoroneniya zoloshlakovykh otkhodov elektrostantsiy* [Geoecological aspects of forecasting environmental changes in the areas of ash and slag waste disposal sites of power plants] *Vestnik Voronezhskogo gos. un-ta. Seriya: geologiya* [Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geology]. No. 1. P. 233–239.
25. Shaikhutdinova A.A., Meshcheryakov A.G., Nemereshina O.N. (2011) *Ekologicheskie problemy khraneniya otkhodov teploelektrostantsiy, rabotayushchikh na tverdom toplive* [Environmental problems of storing waste from thermal power plants operating on solid fuel] *Intellekt. Innovatsii Investitsii* [Intellect. Innovations. Investments]. No. 2. P. 252–255.
26. Borichev K.P., Orlov A.V., Putilov V.Ya., Putilova I.V. (2000) *Vliyanie zoloshlakootvalov na okruzhayushchuyu sredu* [Impact of ash dumps on the environment Proceedings] *Mat-ly konf. «Ekologiya energetiki 2000»* [Conference «Ecology of Energy 2000»] *MEI* [MEI]. Moscow. P. 193–197.
27. Radomsky S.M., Mironyuk A.F., Radomskaya V.I., Lukichev A.A. (2004) *Ekologicheskie problemy zoloshlakootvala Blagoveshchenskoy TETs* [Environmental problems of the ash dump of the Blagoveshchenskaya TPP] *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia]. March 2004. P. 28–31.
28. Futoryansky, L.D. (2008) *Geoekologicheskie kriterii optimal'nogo razmeshcheniya zoloshlakootvalov TES v prirodnikh usloviyakh srednego Urala* [Geoecological criteria for the optimal placement of ash dumps of TPPs in the natural conditions of the Middle Ural] *Avtoref. dis. na soiskanie uch. st. kand. geol.-miner. nauk* [Abstract of a dissertation for the degree of Candidate of Geological and Mineral Sciences]. Ekaterinburg. 26 P.
29. *Otsenka vozdeystviya proektiruемого zolootvala Zheleznogorskoy TETs na atmosfernyy vozdukh* [Assessment of the impact of the designed ash disposal site of Zheleznogorsk TPP on the atmospheric air]. Available at: <https://works.doklad.ru/view/mfmm0mNc7Cw.html>.
30. Kurdov A.G., Dmitrieva V.A. (2002) *Voronezhskoe vodokhranilishche: 30 let spustya* [Voronezh Reservoir: 30 years later] *Vestnik Voronezh. gos. un-ta. Ser.: Geograf. i geoekol.* [Bulletin of Voronezh state University. Series: Geogr. and Geoecol.]. No. 1. P. 124–127.
31. Smirnova A.Ya., Bocharov V.L. (1997) *Vodnye ekosistemy promyshlennno-gorodskikh aglomeratsiy basseyna Verkhnego Dona* [Aquatic ecosystems of industrial and urban agglomerations of the Upper Don basin] *Vestnik Voronezh. un-ta. Ser.: Geologiya* [Bulletin of Voronezh. University. Series: Geology]. No. 3. P. 102–105.
32. Radomskaya V.I., Radomsky S.M. (2004) *Kharakter vliyaniya Blagoveshchenskoy TETs na okruzhayushchiy landsaft* [The nature of the influence of the Blagoveshchenskaya TPP on the surrounding landscape] *Problemy bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti v tekhnosfere. Mat-ly mezhregional'noy konf. molodykh uchenykh* [Problems of life safety in the technosphere: materials of the interregional conference of young scientists]. P. 116–117.
33. Ivanykina O.V., Zhuravleva N.V. (2008) *Izuchenie raspredeleniya tyazhelykh metallov v sisteme otkhody – voda – pochva dlya zoloshlakovykh otvalov Kemerovskoy oblasti* [Study of the distribution of heavy metals in the waste-water-soil system for ash and slag dumps of the Kemerovo region] *Upravlenie otkhodami – osnova vosstanovleniya ekologicheskogo ravnovesiya v Kuzbasse: sb. dokladov Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konf.* [Waste management – the basis for restoring the ecological balance in Kuzbass: collection of reports of the International scientific and practical conference]. P. 151–157.

34. *Gosudarstvennyy doklad o sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Khabarovskogo kraya v 2010 g. (pod red. V.M. Shikhaleva)* [State report on the state and protection of the environment of Khabarovsk Krai in 2010 (ed. V.M. Shikhalev)]. Khabarovsk. 2011. 267 P.
35. Dushkova D.O., Evseev A.V. (2011) *Analiz tekhnogennoy vozdeystviya na geosistemy Evropeyskogo Severa Rossii* [Analysis of technogenic impact on geosystems of the European North of Russia] *Arktika i Sever: elektronnoe periodicheskoe izdanie* [Arctic and North: electronic periodical publication]. No. 4 (November). P. 162–195.
36. Bradley E. Sample, Glenn W. Suterr (2002) Screening Evaluation of the Ecological Risks to Terrestrial Wildlife Associated with a Coal Ash Disposal Site. *Human & Ecological Risk Assessment*. Vol. 8. Issue 4. P. 637.
37. *Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 09.06.2020 No. 1523-r (red. ot 28.02.2024) «Ob utverzhdenii Energeticheskoy strategii Rossiyskoy Federatsii na period do 2035 goda»* [Order of the Government of the Russian Federation of 09.06.2020 No. 1523-r (as amended on 28.02.2024) «On approval of the Energy Strategy of the Russian Federation for the period up to 2035»].
38. *Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 02.08.2023 No. 2094-r «Ob utverzhdenii perechnya vidov produktsii (tovarov), proizvodstvo kotorykh osushchestvlyayetsya s ispol'zovaniem opredelennoy doli vtorichnogo syr'ya v ikh sostave i v otnoshenii kotorykh osushchestvlyayetsya stimulirovanie deyatel'nosti po ikh proizvodstvu, i perechnya vidov rabot, uslug, vypolnenie i okazanie kotorykh osushchestvlyayetsya s ispol'zovaniem opredelennoy doli vtorichnogo syr'ya v ikh sostave i v otnoshenii kotorykh osushchestvlyayetsya stimulirovanie deyatel'nosti po ikh vypolneniyu»* [Order of the Government of the Russian Federation of 02.08.2023 No. 2094-r «On approval of the list of types of products (goods), the production of which is carried out using a certain share of secondary raw materials in their composition and in relation to which incentives are provided for their production, and the list of types of works, services, the performance and provision of which is carried out using a certain share of secondary raw materials in their composition and in relation to which incentives are provided for their performance»].
39. Zolotova I.Yu. (2020) *Benchmarking zarubezhnogo opyta utilizatsii produktov szhiganiya tverdogo topliva ugol'nykh TES* [Benchmarking of foreign experience in the disposal of solid fuel combustion products of coal-fired thermal power plants] *Innovatsii i investitsii* [Innovations and Investments]. No. 7. P. 123–128.
40. Kumar V., Jha G.K. (2014) *Analiz zakonodatel'stva Indii v oblasti obrashcheniya s zoloshlakami energetiki* [Analysis of Indian legislation in the field of energy ash and slag handling] *Mat-ly V konf. «Zoloshlaki TES: udalenie, transport, pererabotka, skladirovanie»*. Moskva, 24–25 aprelya 2014 g. *Poligraficheskiy tsentr MEI* [Proceedings of the V conference «TPP ash and slag: removal, transportation, processing, storage». Moscow. April 24–25, 2014. MPEI Printing Center]. Moscow. P. 22–26.
41. Putilova I.V. (2023) *Opyt realizatsii proektov s ispol'zovaniem zoloshlakov TES v Rossii i za rubezhom* [Experience in implementing projects using TPP ash and slag in Russia and abroad] *Al'ternativnaya energetika i ekologiya* [Alternative energy and ecology]. No. 3. P. 49–68.
42. Lesovik G.A., Lesovik R.V., Klyuev S.V., Wenxiu Xiao, Xuan Zhang (2022) *O perspektivakh ispol'zovaniya zol-unosa v gazobeton* [On the Prospects of Using Fly Ash in Aerated Concrete] *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova* [Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov]. Vol. 7. No. 10.
43. *O prognoze razvitiya mirovoy ugol'noy promyshlennosti* [On the Forecast of the Development of the Global Coal Industry]. Available at: https://vk.com/wall-220176382_88.
44. Lindon K.A. (2015) Properties and use of coal fly ash: Use of fly ash for road construction, runways and similar projects. London. 132 p.
45. Aldred J. (2010) Burj Khalifa – a new high for high-performance concrete. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering*. Thomas Telford Ltd. Vol. 163. No. 2. P. 66–73. 5. Urban T. et al.
46. Experimental investigations on punching shear of lightweight aggregate concrete flat slabs. *Engineering Structures*, 2019. Vol. 197. P. 109371.
47. Ivanov K.S., Ivanov N.K. (2004) *Ispol'zovanie shlakov i zol pri poluchenii gazobetona* [Use of slags and ashes in the production of aerated concrete] *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of universities. Construction]. No. 9 (549). P. 26–30.

48. Krasheninnikov O.N., Pak A.A., Bastrygina S.V. (2007) *Ispol'zovanie zolootkhodov dlya polucheniya betonov* [Use of ash waste for the production of concrete] *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva* [Ecology of industrial production]. No. 2. P. 48–56.
49. Soloviev L.P., Pronin V.A., Pronin S.V., Tuzovskaya F.F. (2009) *Izvlechenie ferromagnitnykh materialov iz zoloshlakovykh otkhodov Kuznetskoy TETs* [Extraction of ferromagnetic materials from ash and slag waste of the Kuznetsk CHPP] *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia]. P. 34–35.
50. Putilov V.Ya., Putilova I.V. (2010) *Problemy obrashcheniya s zoloshlakami TES v Rossii: bar'ery, vozmozhnosti i puti resheniya* [Problems of handling ash and slag from thermal power plants in Russia: barriers, opportunities and solutions] *Teploenergetika* [Thermal power engineering]. No. 4. P. 63–66.
51. Koval T.V., Aizenberg I.I. (2010) *Ispol'zovanie v stroitel'stve zoloshlakovykh materialov, poputno poluchaemykh v kotlakh istochnikov sistemy teplosnabzheniya* [Use in construction of ash and slag materials produced in boilers of heat supply system sources] *Vestnik IrGTU* [Bulletin of IrSTU]. No. 5(45). P. 94–102.
52. Akhmedov M.M., Valiev B.S., Kadyrova G.A., Geydarov A.A. (2011) *Izvlechenie vanadiya iz zoly ot szhiganiya mazuta* [Extraction of vanadium from ash from fuel oil combustion] *Khimicheskaya promyshlennost'* [Chemical industry]. No. 2. P. 18–24.
53. Salikhov V.A. (2014) *Geologo-ekonomicheskaya i ekonomicheskaya (stoimostnaya) otsenka tsvetnykh i redkikh metallov, sodержashchikhsya v uglyakh i zoloshlakovykh otkhodakh ugley* [Geological, economic and economic (cost) assessment of non-ferrous and rare metals contained in coals and coal ash and slag waste] *Vestnik Tomskogo gos. un-ta* [Ekonomika Bulletin of Tomsk State University. Economics]. No. 1 (25). P. 123–138.
54. Kosarev A.S., Smoliy V.A., Skorikov (2018) *Otsenka vozmozhnosti ispol'zovaniya zoloshlakovykh otkhodov teploenergetiki pri proizvodstve granulirovannogo poristogo zapolnitelya dlya legkikh betonov i teploizolyatsionnykh zasypok* [Assessment of the possibility of using ash and slag waste of thermal power engineering in the production of granulated porous filler for lightweight concrete and thermal insulation backfill] *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki* [Bulletin of universities. North Caucasus region. Technical sciences]. No. 4. P. 111–117.
55. Zvereva E.R., Plotnikova V.P., Burganova F.I., et al. (2019) *Kompleksnyy metod utilizatsii zoloshlakovykh otkhodov teplovykh elektrostantsiy* [Integrated method for recycling ash and slag waste of thermal power plants] *Vestnik Kazanskogo gos. energetich. un-ta* [Bulletin of Kazan State Power Engineering University]. No. 2. P. 1527.
56. Snikkars P.N., Zolotova I.Yu., Osokin N.A. (2020) *Utilizatsiya zoloshlakov TES kak novaya krossotraslevaya zadacha* [Utilization of ash and slag from thermal power plants as a new cross-sectoral task] *Energeticheskaya politika* [Energy policy]. No. 7 (149). P. 34–45.
57. Slobodchikova N.A., Plyuta K.V. (2023) *Issledovanie vozmozhnostey primeneniya zoloshlakovykh materialov dlya stroitel'stva zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog na primere Irkutskoy oblasti* [Study of the possibilities of using ash and slag materials for the construction of roadbeds on the example of the Irkutsk region] *Sbornik: Dorogi i mosty* [Collection «Roads and Bridges»]. Vol. 49. No. 1. P. 223–237.
58. *GOST 25818–91. Zoly unosa teplovykh elektrostantsiy i betonov. Tekhnicheskie usloviya* [GOST 25818-91. Fly ash from thermal power plants and concrete. Specifications].
59. *GOST 379–95. Kirpich i kamni silikatnye. Tekhnicheskie usloviya* [GOST 379–95. Sand-lime bricks and stones. Specifications].
60. *GOST 26644–85. Shcheben' i pesok iz shlakov teplovykh elektrostantsiy dlya betona. Tekhnicheskie usloviya* [GOST 26644–85. Crushed stone and sand from slags of thermal power plants for concrete. Specifications].
61. *GOST 28013–89. Rastvory stroitel'nye. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [GOST 28013–89. Building mortars. General specifications].
62. *GOST 25592–91. Smesi zoloshlakovye teplovykh elektrostantsiy dlya betonov. Tekhnicheskie usloviya* [GOST 25592-91. Ash and slag mixtures of thermal power plants for concrete. Specifications].
63. *GOST 25485–89. Betony yacheistye. Tekhnicheskie usloviya* [GOST 25485–89. Cellular concretes. Specifications].
64. *GOST 21–60–84. Zola-unos dlya proizvodstva izdeliy iz yacheistogo betona. Tekhnicheskie usloviya* [GOST 21–60–84. Fly ash for the production of cellular concrete products. Specifications].

65. *GOST 9128–84. Smesi asfal'tobetonnye dorozhnye, aerodromnye i asfal'tobeton. Tekhnicheskie usloviya* [GOST 9128–84. Asphalt concrete mixtures for roads, airfields and asphalt concrete. Specifications].

66. *GOST 8267–93. Shcheben' i graviy iz plotnykh gornykh porod dlya stroitel'nykh rabot. Tekhnicheskie usloviya* [GOST 8267–93. Crushed stone and gravel from dense rocks for construction work. Technical conditions].

67. *GOST 25607–94. Smesi shchebenochno-graviyno-peschanye dlya pokrytiy i osnovaniy avtomobil'nykh dorog i aerodromov. Tekhnicheskie usloviya* [GOST 25607–94. Crushed stone-gravel-sand mixtures for pavements and bases of highways and airfields. Technical conditions].

68. *Sayt kompanii* [Company website]. *Proizvodstvo tsementa s ispol'zovaniem zoloshlakov v Irkutskoy oblasti* [Cement production using ash and slag in the Irkutsk region]. Available at: <https://arvis.online/materials/cases/opyt-ao-angarskczement-po-utilizaczii-zoloshlakov-tes-oao-irkutskenergo>.

69. *Stroitel'stvo transportnoy razvyazki i nadzemnogo puteprovoda v Moskovskoy oblasti s ispol'zovaniem zoloshlakovykh materialov* [Construction of a transport interchange and an overpass in the Moscow region using ash and slag materials]. Available at: <https://arvis.online/materials/cases/utilizaczia-zoloshlakov-kashirskoj-gres>.

70. *Stroitel'stvo avtodorozhnoy razvyazki v Moskovskoy oblasti s ispol'zovaniem zoloshlakovykh materialov* [Construction of a road junction in the Moscow region using ash and slag materials]. Available at: <https://arvis.online/materials/cases/utilizaczia-zoloshlakov-tecz-22-mosenergo>.

71. *Proizvodstvo mineral'nykh dobavok v stroitel'nye materialy iz zoloshlakov v Tul'skoy oblasti* [Production of mineral additives in building materials from ash and slag in the Tula region]. Available at: <https://arvis.online/materials/cases/utilizaczia-pstt-zsho-s-zolootvala-aleksinskoj-tecz>.

72. *Vysokotekhnologichnaya ustanovka po pererabotke zoloshlakov Severskoy TETs v Tomskoy oblasti* [High-tech installation for processing ash and slag of the Severskaya TPP in the Tomsk region]. Available at: <https://arvis.online/materials/presentations>.

73. *Rekul'tivatsiya narushennykh zemel' s primeneniem zoloshlakov v Krasnoyarskoy krae i Kemerovskoy oblasti* [Reclamation of disturbed lands using ash and slag in the Krasnoyarsk region and the Kemerovo region]. Available at: <https://arvis.online/materials/cases/rekul'tivaczia-narushennykh-zemel-s-primeneniem-zoloshlakov-opyt-sibirskoj-generiruyushhej-kompanii>.

74. *Remont avtomobil'noy dorogi s ispol'zovaniem zoloshlakovykh materialov v Novosibirskoy oblasti* [Road repair using ash and slag materials in Novosibirsk region]. Available at: <https://arvis.online/materials/cases/remont-dorogi-s-primeneniem-zoloshlakov-barabinskoy-tecz-sibirskaya-generiruyushhaya-kompaniya>.

75. *Proizvodstvo stroitel'nykh materialov s ispol'zovaniem zolyunosa v Omskoy oblasti* [Production of building materials using fly ash in Omsk region]. Available at: <https://arvis.online/materials/publications>.

76. *Izgotovlenie alyumosilikatnykh mikrosfer iz zoloshlakov v Kemerovskoy oblasti* [Production of aluminosilicate microspheres from ash and slag in Kemerovo region]. Available at: <https://arvis.online/materials/cases/izgotovlenie-alyumosilikatnykh-mikrosfer-iz-zoloshlakov-belovskoj-gres>.

77. *Proizvodstvo rulonnykh gidrozolyatsionnykh materialov s ispol'zovaniem zoly-unosa v Kemerovskoy oblasti* [Production of rolled waterproofing materials using fly ash in the Kemerovo region]. Available at: <https://arvis.online/materials/cases/zavod-tehnofleks-ispolzuet-zolu-unosa-v-proizvodstve-rulonnykh-gidrozolyaczionnykh-materialov>.

78. *Ot otkhodov ugol'nykh elektrostantsiy k proizvodstvu stroitel'nykh materialov* [From coal power plant waste to the production of building materials]. Available at: <https://energypolicy.ru/ot-othodov-ugolnykh-elektrostancij-k-proizvodstvu-stroitelnykh-materialov/ugol/2021/14/28/?ysclid=m6zg0bcnqr766128983>.

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

МЕТАЛЛУРГМАШ: ВОЗМОЖНОСТИ ПО ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЮ

Б.А. Сивак, первый зам. ген. директора АО АХК «ВНИИМЕТМАШ», канд. техн. наук, проф., sba1949@mail.ru

А.В. Протасов, вед. специалист, АО АХК «ВНИИМЕТМАШ», канд. техн. наук, avprotasov@yandex.ru

Рецензент: М.А. Полякова, ФГБОУ ВО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, д-р техн. наук, m.polyakova-64@mail.ru

Статья посвящена анализу различных аспектов импортозамещения металлургического оборудования и деятельности предприятий, входящих в состав Международного союза производителей металлургического оборудования (МС), по созданию конкурентоспособного высокотехнологичного оборудования для основных металлургических переделов и различных отраслей экономики. Приведены сведения о новейших разработках и поставках высокотехнологичного оборудования предприятиями, входящими в состав МС, для доменного, сталеплавильного и прокатного производств, а также для других отраслей промышленности.

Ключевые слова: импортозамещение, оборудование, технологическая безопасность, наукоемкая продукция, клапан горячего дутья, индукционная тигельная печь, агрегат ковш-печь, электромагнитное перемешивание, аморфная лента.

METALLURGMASH: OPPORTUNITIES FOR IMPORT SUBSTITUTION

B.A. Sivak, First Deputy General Director, JSC AHC «VNIIMETMASH», Professor, Doctor of Engineering, sba1949@mail.ru

A.V. Protasov, Leading Specialist, JSC AHC «VNIIMETMASH», Doctor of Engineering, avprotasov@yandex.ru

The article is devoted to the analysis of various aspects of import substitution of metallurgical equipment and the activities of enterprises that are members of the International Union of Metallurgical Equipment Manufacturers to create competitive high-tech equipment for the main metallurgical processes and various sectors of the economy. Information is provided on the latest developments and supplies of high-tech equipment by enterprises that are members of the International Union of Metallurgical Equipment Manufacturers for blast furnace, steelmaking and rolling production, as well as for various industries.

Keywords: import substitution, equipment, technological safety, science-intensive products, hot blast valve, induction crucible furnace, ladle-furnace unit, electromagnetic mixing, amorphous strip.

В выступлениях руководства АО АХК «ВНИИМЕТМАШ» и Международного союза производителей металлургического оборудования (МС) «Металлургмаш» задолго до начала кампании по борьбе за массовое импортозамещение отмечалась опасность преобладающей

ориентации металлургических предприятий на закупки импортного оборудования. «События последнего времени наглядно подтверждают актуальность решения давно назревшей проблемы импортозамещения наукоемкой продукции как необходимого условия обеспечения технологической безопасности государства. Как уже неоднократно отмечалось, независимо от экономических санкций, ориентация на преобладающий импорт технологического оборудования влечет за собой целый ряд негативных последствий» (рис. 1) [1].

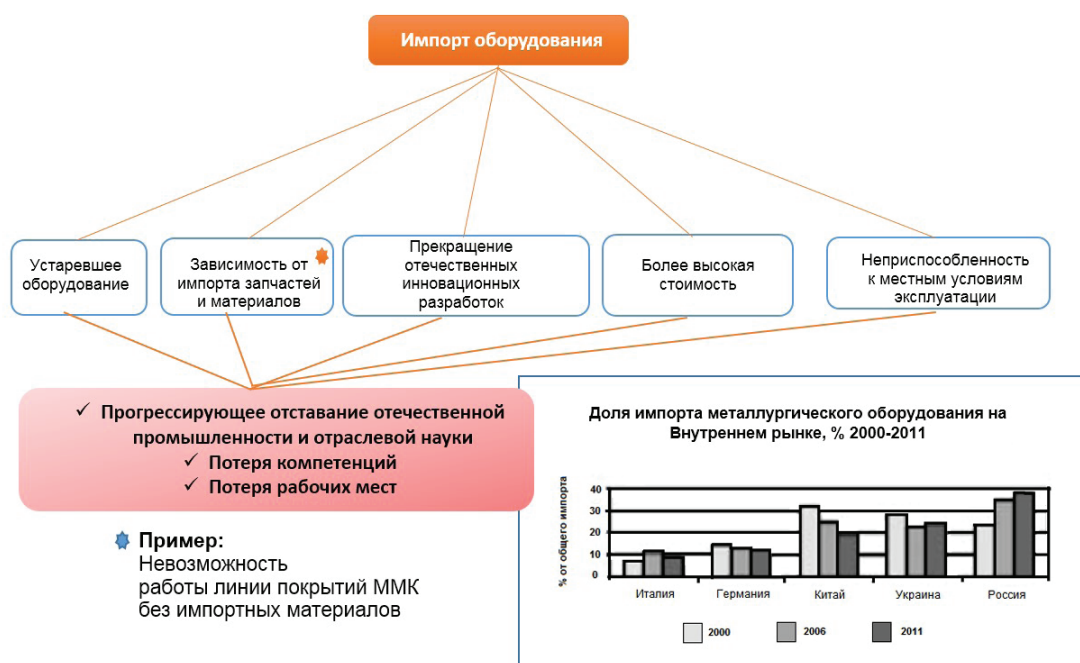


Рис. 1. Основы технологического суверенитета

Не случайно импортозамещению уделяется значительное внимание на протяжении многих лет, особенно в последнее время. При этом уже неоднократно приводились примеры поставки различных видов импортного оборудования неудовлетворительного качества и неудовлетворительного технического уровня импортируемых изделий. Для устранения выявленных дефектов специалисты АХК «ВНИИМЕТМАШ» в ряде случаев прилагали значительные усилия. Также много раз отмечались возможные проблемы с комплектующими изделиями и запчастями. В качестве самой большой угрозы для технологической безопасности указывались неравные условия финансирования создания новейшей наукоемкой продукции, отсутствие полигонов для отработки конструкции и нежелание металлургических предприятий участвовать в отработке и внедрении новой техники. Для решения данной проблемы предполагалось создать сеть научно-производственных технопарков.

Международные санкции, призванные максимально осложнить работу высокотехнологичного сектора экономики России, ставят перед предприятиями горно-металлургического комплекса новые масштабные задачи, одними из которых являются инвентаризация сложившегося научно-технического потенциала, выявление и эффективное решение стратегических задач, направленных на обеспечение технологической безопасности государства. Предприятия, входящие в состав МС «Металлургмаш», обладают широким набором необходимых компетенций и опытом создания конкурентоспособного оборудования для всех

переделов традиционного металлургического производства, а также уникальными технологиями для применения в различных отраслях экономики. Ниже приведены лишь некоторые из научно-технических разработок последнего времени и успешных поставок высокотехнологичного оборудования.

Оборудование доменных цехов

На основании многолетнего опыта производства и эксплуатации клапанов горячего дутья в ОАО «Электростальский завод тяжелого машиностроения» (ЭЗТМ) разработана новая термофутерованная модель клапана горячего дутья DN900 Ø900 мм для доменных печей объемом до 1000 м³ (рис. 2). Диск, проходное сечение корпуса и внутренняя поверхность крышки зафутерованы огнеупорным бетоном, что существенно снижает тепловые потери в клапане. Для повышения стойкости футеровки применены современные армирующие элементы, которые благодаря своим конструктивным особенностям имеют высокую способность удерживания огнеупорного материала. Система охлаждения корпуса позволяет эффективно охладить наиболее теплонагруженные элементы конструкции клапана – упорные кольца, а также обеспечить эффективное охлаждение присоединительных фланцев и прифланцевой зоны горловины корпуса, что способствует нормальным условиям работы фланцевых уплотнений.



Рис. 2. Клапан горячего дутья DN900

Наиболее теплонагруженные элементы конструкции клапана имеют минимальное число сварных швов в зоне повышенных температур, что обеспечивает высокую эксплуатационную надежность клапана.

Конструктивные особенности диска обеспечивают плотность запираания клапана в соответствии с требованиями норм герметичности на запорную арматуру. Сальниковое уплотнение труб, подводящих и отводящих охлаждение в диск клапана, выполнено из экологически чистого материала на основе терморасширенного графита, хорошо зарекомендовавшего себя в условиях эксплуатации серийных моделей клапанов диаметром 1100 и 1300 мм производства ОАО «ЭЗТМ». Партия клапанов горячего дутья Ø900 мм новой модели изготовлена и поставлена на Металлургический завод им. А.К. Серова.

Колпинским отделением (КО) «ВНИИМЕТМАШ» в целях обеспечения ремонта и замены оборудования литейного двора доменной печи № 5 ЧерМК разработан комплект конструкторской документации машин для обслуживания чугунной лётки (рис. 3).

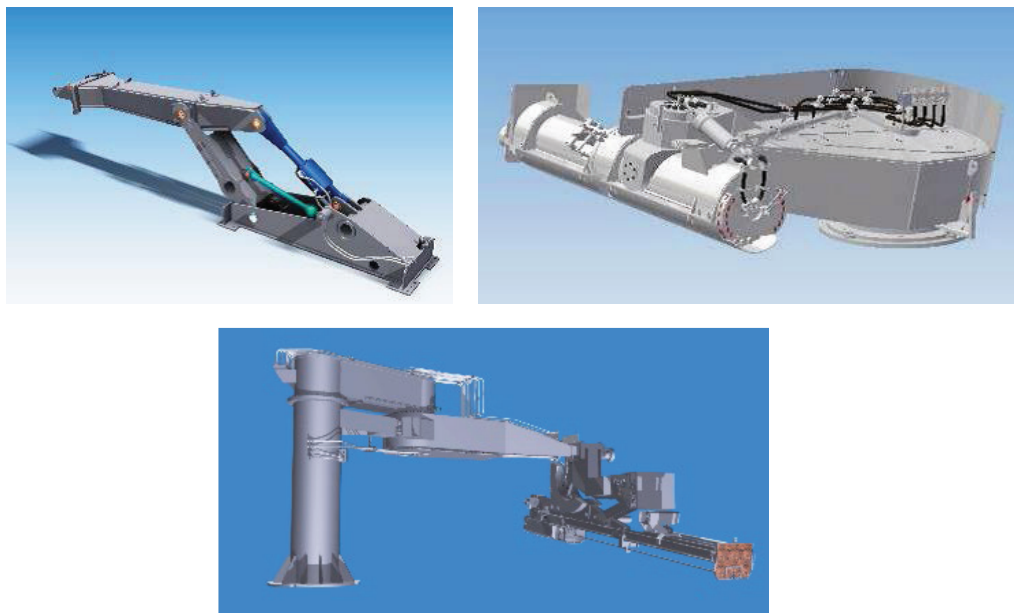


Рис. 3. Механизмы обслуживания лётки доменной печи

Оборудование сталеплавильных цехов

Дуговые сталеплавильные печи

В МС «Металлургмаш» широко представлены предприятия, специализирующиеся в области создания сталеплавильного оборудования.

Например, АО «СКБ Сибэлектротерм» является разработчиком и изготовителем широкой номенклатуры плавильного и рафинировочного оборудования для производства высококачественных стали и чугуна для литейных и литейно-прокатных производств, а также общецеховых систем.

Трехфазные дуговые сталеплавильные печи (ДСП) и дуговые печи постоянного тока (ДППТ) оснащаются современными станциями гидропривода, источниками питания, комплексами АСУ ТП с набором всех необходимых контрольных и технологических функций в типовом исполнении и по индивидуальным требованиям заказчика.

При необходимости электропечи комплектуются стальковшами и дополнительными грузочными корзинами, стендами свинчивания и хранения электродов, станциями оборотного водоохлаждения, системами весодозирования, хранения и подачи сыпучих материалов, системами удаления и очистки отходящих газов, кислородными и аргонными стендами, оборудованием экспресс-анализа, стендами сушки, разогрева и ремонта ковшей. Продолжается поиск новых прогрессивных технических решений, направленных на повышение эффективности выплавки металла.

Разработанные в НПП «Вулкан-ТМ» своды для ДСП и ДППТ являются альтернативной заменой традиционной наборной футеровки из огнеупорного кирпича и представляют собой монолитные огнеупорные изделия, применяемые в дуговых сталеплавильных печах переменного и постоянного тока (рис. 4).



Рис. 4. Своды дуговых печей конструкции НПП «Вулкан-ТМ»

Хорошие перспективы имеет электромагнитное перемешивание ванны металла посредством индуктора, устанавливаемого под днищем электросталеплавильной печи. Технология и оборудование, разрабатываемые «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» и НПП «Сибэлектротерм» (рис. 5), заменяют зарубежные аналоги, в частности разработки компании ASEA.

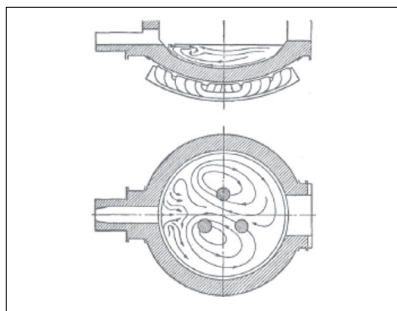


Рис. 5. Перспективная разработка системы электромагнитного перемешивания ванны металла ЦНИИчермет – «Сибэлектротерм»

Современные дуговые и индукционные печи для выплавки черных и цветных металлов ООО НПФ «Комтерм» (рис. 6) также находят широкое применение на отечественных металлургических и литейных заводах. Производственно-инжиниринговая фирма ООО НПФ «Комтерм» разрабатывает и изготавливает высокоэффективные металлургические агрегаты и комплексы различного исполнения, емкости и мощности для разнообразных (или широкого спектра) технологических задач.

Оборудование и технические решения используются для опытно-промышленных, литейных, металлургических, ферросплавных и специальных производств. Основные направления деятельности:

- комплектная поставка электродуговых печей постоянного и переменного тока, рудотермических печей, установок спецметаллургии (печей вакуумного, дугового и электрошлакового переплава и др.);

- модернизация и автоматизация существующего электротермического оборудования.

Современные дуговые и индукционные печи для выплавки черных и цветных металлов АО «Комтерм» также находят применение на отечественных металлургических и литейных заводах.

Индукционные плавильные установки

Конкурентоспособные индукционные каналные и тигельные плавильные печи различных видов и типоразмеров успешно выпускаются предприятием ООО НПФ «Рэлтек».

Осуществляются проектирование, изготовление, модернизация, включая импортное оборудование.

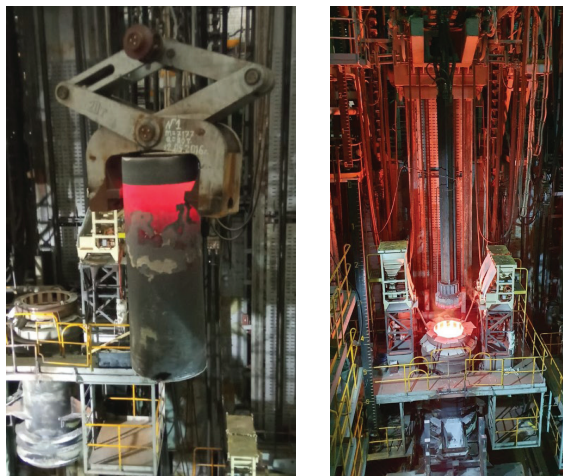


Рис. 6. Инновационные разработки электротермического оборудования НПФ «Комтерм»

На рис. 7 представлены индукционные печи конструкции «Рэлтек», включающие перспективные разработки, обладающие уникальными характеристиками и не имеющие зарубежных аналогов.



Рис. 7. Индукционные печи конструкции «Рэлтек»

Установки индукционные плавильные (УИП) вместимостью от 1 до 16 т предназначены для индукционной плавки черных и цветных металлов токами высокой частоты. Находят применение установки индукционной плавки черных и цветных металлов с моноблочным преобразователем ТПЧП (М) с печами от 60 кг до 2 т. В современных литейных цехах с малыми объемами литья широко используются установки индукционной среднечастотной плавки.

Заводом «Рэлтек» выпускаются установки, отвечающие требованиям современного металлургического и литейного производства.

Установка индукционная плавильная вакуумная УИПВ-250-2,4-0,15 предназначена для плавки и разливки в вакууме или в среде инертных газов сплавов на основе кобальта, никеля и железа и представляет собой производственный комплекс для литья сложных фасонных изделий (турбинных лопаток, рабочих колес, корпусных деталей и т.п.) по выплавляемым и газифицируемым моделям.

Успешно завершена модернизация индукционной плавильной вакуумной установки печи ISP 2/III-E (25 кг) производства компании Leybold Heraeus GmbH (Германия) для предприятия «Газпромэнергосервис» (г. Москва) (рис. 8). Модернизирована система электропитания индуктора, включая тиристорный преобразователь частоты и пульт управления на базе промышленного контроллера «Агава». В рамках модернизации внесены изменения в программное обеспечение ТПЧП для согласования с контуром, расширен диапазон стабильной работы ТПЧП в диапазоне от 3 до 100% номинальной мощности, параметры установки приведены к паспортным техническим характеристикам (2 кГц, мощность 140 кВт). Успешно проведено более 10 плавов, подтверждена необходимая скорость плавления для жаропрочных сплавов.

Компанией «Рэлтек» завершена поставка «под ключ» плавильной индукционной установки УИП-250-1,0-0,25 (рис. 9) для предприятия ООО «НИКС», предназначенной для выплавки специальных сталей сложного химического состава с высокой температурой плавления.



Рис. 8. Печи ISP 2/III-E после модернизации



Рис. 9. Плавильная индукционная установка УИП-250-1,0-0,25

Технологии и оборудование для внепечной обработки стали

ГНЦ «ЦНИИчермет» является одним из основных отечественных разработчиков технологических процессов внепечной обработки жидкой стали, все отечественные агрегаты внепечной обработки стали были созданы по технологическим заданиям «ЦНИИчермет». Наряду с разработкой технологии конкретных процессов на отдельных агрегатах «ЦНИИчермет» успешно работает над созданием комплексных процессов получения высококачественной металлопродукции ответственного назначения.

Например, с применением циркуляционного вакууматора конструкции «ВНИИМЕТМАШ», сделанного по заказу «ЦНИИчермет» разработана и успешно освоена технология получения конкурентоспособного отечественного автолиста, удостоенная премии Правительства Российской Федерации.

ГНЦ РФ НПО «ЦНИИТМАШ» разработал и внедрил оригинальный агрегат ковш-печь (АКП) собственной конструкции, успешно работающий на заводе «Электросталь».

Значительный вклад в создание отечественного оборудования для внепечной обработки стали вносит СКБ «Сибэлектротерм». Агрегаты «ковш-печь» конструкции «Сибэлектротерм» обеспечивают нагрев расплава в ковше со скоростью до $5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, оснащаются всем необходимым набором систем и оборудования, включая систему донной и верхней аварийной фурмы продувки расплава аргоном, установку трайб-аппарата, систему хранения, весодозирования и подачи сыпучих. В состав оборудования могут быть включены система механизированного отбора проб и измерения температуры стали, самоходный сталевоз, стенд проверки работоспособности донной фурмы, оборудование удаления и очистки отходящих газов, стенд свинчивания и хранения электродов, стенд хранения резервных фурм и многое другое.

Установки вакуумирования и вакуум-кислородного рафинирования стали (УВС, УВКР) камерного типа оснащаются всем необходимым набором систем и оборудования, включая систему донной фурмы для продувки расплава аргоном в ковше, установку верхней кислородной фурмы (для УВКР), шлюзовой бункер-дозатор для подачи сыпучих материалов, систему автоматического отбора проб и измерения температуры расплава, систему теленаблюдения, аварийного повышения давления, газоанализатор и пр. В комплекте с УВС/УВКР поставляется система вакуумпровода с затворами, газоохладителем и высокотемпературным рукавным фильтром, пароежекторный агрегат с барометрическим баком, металлоконструкциями и рабочими площадками.

Широкий ассортимент конкурентоспособного металлургического оборудования, применяемого в процессах вторичной металлургии, успешно выпускает НПП «Вулкан-ТМ». Благодаря творческому вкладу специалистов предприятия удалось решить проблему создания надежных продувочных устройств и шиберных затворов (рис. 10, 11).

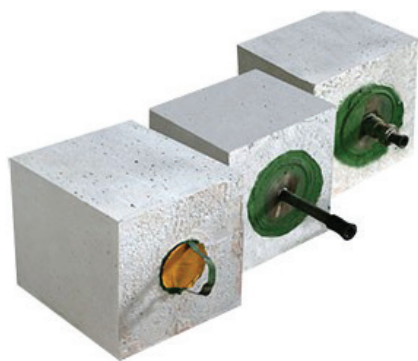


Рис. 10. Продувочные устройства конструкции НПП «Вулкан-ТМ»

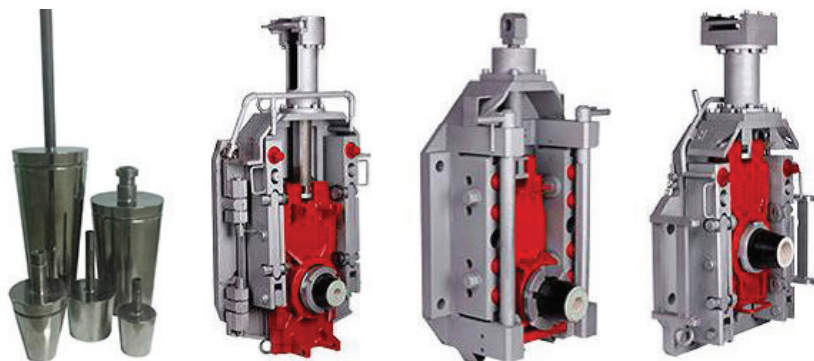


Рис. 11. Шиберные затворы конструкции НПП «Вулкан-ТМ»

Системы продувки металла аргоном (продувочные пробки и узлы) предназначены для гомогенизации, рафинирования и очистки металла от неметаллических включений в процессе внепечной обработки и разлива в металлургическом и литейном производстве.

Шиберные затворы входят в состав систем беспостопной разливки стали и сплавов и предназначены для разлива металла из сталеразливочных ковшей в условиях металлургического производства.

Разработки оборудования для производства и введения в расплав инъекционной порошковой проволоки востребованы на многих отечественных металлургических и литейных

заводах. Трайб-аппарат используется для введения порошковой проволоки, алюминиевой катанки и монокальциевой проволоки в расплав металла (рис. 12). Область применения — внепечная обработка металла в черной и цветной металлургии, раскисление, легирование, модифицирование, десульфурация.

Некоторые виды вспомогательного и общецехового оборудования конструкции «Сиб-электротерм» для сталеплавильного цеха № 2 ПО «Севмаш» показаны на рис. 13.



Рис. 12. Трайб-аппарат конструкции НПП «Вулкан-ТМ»

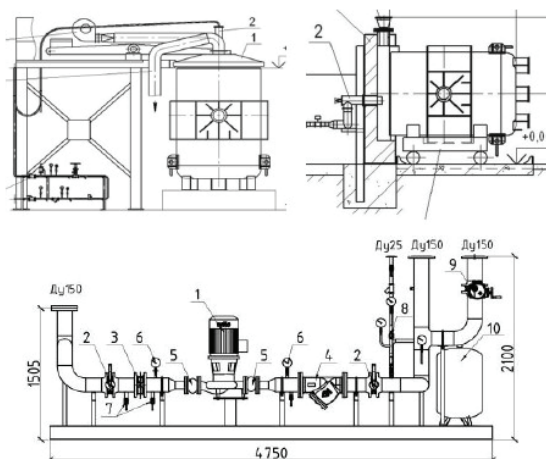


Рис. 13. Вспомогательное и общецеховое оборудование конструкции «Сибэлектротерм» для сталеплавильного цеха № 2 ПО «Севмаш»

Технологии и оборудование для спецэлектрOMETаллургии

Технологическая безопасность государства в значительной степени определяется способностью промышленности выпускать в достаточном количестве сложные прецизионные сплавы ответственного назначения, в производстве которых важную роль играет применение процессов вторичного рафинирования путем электрошлакового, вакуумно-дугового, плазменно-дугового и электронно-лучевого переплава. В состав Международного союза «Металлургмаш» (МС «Металлургмаш») входит один из основных отечественных разработчиков подобного оборудования — НПО «Комтерм» (рис. 14), осуществляющий разработку, поставку и модернизацию оборудования, а также отработку технологии.

Машины непрерывного литья стали

АО НПП «Машпром» разрабатывает и производит импортозамещающие инновационные сборные кристаллизаторы слябовых машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) (рис. 15, 16), превосходящие по стойкости и надежности в 4–20 раз продукцию зарубежных производителей и обеспечивающие повышение качества непрерывнолитых заготовок. Рекордный показатель стойкости, полученный на ММК, — свыше 700 тыс. т разлитой стали.

В компании «ВНИИМЕТМАШ» разработаны системы электромагнитного перемешивания металла в кристаллизаторе (встроенные и наружного исполнения), а также в зоне вторичного охлаждения (окончания затвердевания) для промышленных сортовых МНЛЗ, производящих заготовки 125×125 мм, для МНЛЗ горизонтального типа — Ш80–120 мм; для блюмовых МНЛЗ — Ш150–410 мм; для МПНЛЗ — Ш250 и 360 мм (рис. 17). Разработанное оборудование обладает рядом преимуществ по сравнению с импортными аналогами, в том числе повышенной энергоэффективностью и ремонтопригодностью.

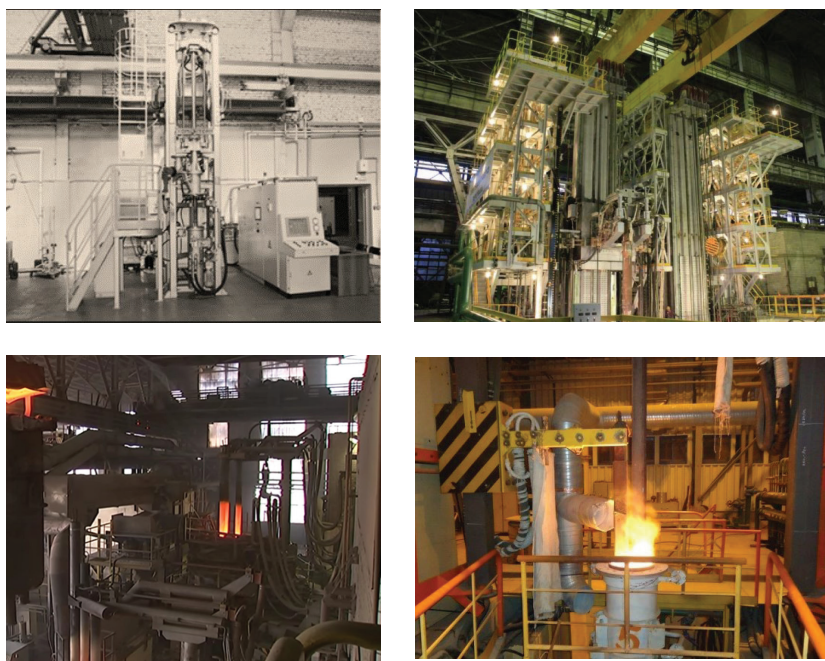


Рис. 14. Установки электрошлакового переплава конструкции НПФ «Комтерм»

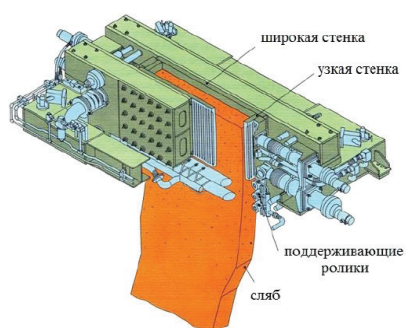


Рис. 15. Сборные кристаллизаторы слябовых МНЛЗ

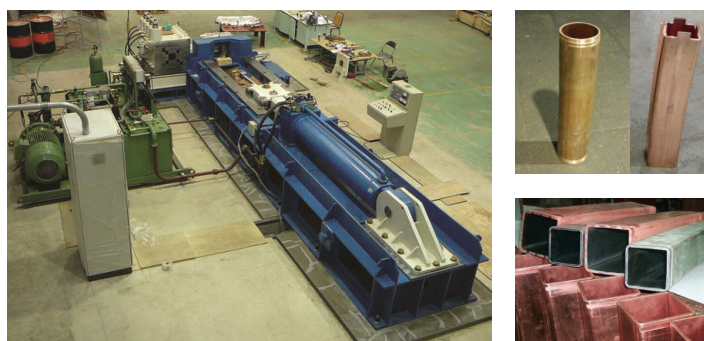


Рис. 16. Создание конкурентоспособных гильзовых кристаллизаторов сортовых МНЛЗ: машина для производства гильз кристаллизаторов; образцы производимых гильз

Электромагнитное перемешивание (ЭМП) на МНЛЗ — это новейшая технология получения высококачественных непрерывнолитых заготовок, которая:

- уменьшает количество поверхностных дефектов в 2–3 раза;
- увеличивает зону равноосных кристаллов на 50–100 %;
- уменьшает центральную пористость и ликвацию до 0 баллов;
- повышает возможность увеличения скорости разливки на 20–30 %;
- расширяет возможность литья с более высокой температурой перегрева на 10–15 °С;
- позволяет значительно расширить сортамент разливаемых марок сталей, в том числе высокоуглеродистых и специальных (подшипниковых, нержавеющей и инструментальных).

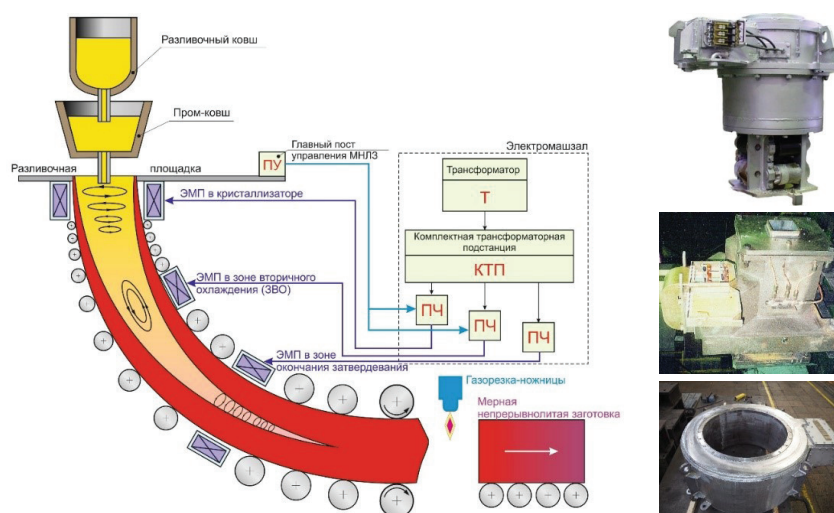


Рис. 17. Электромагнитное перемешивание металла в процессе разливки

Основные преимущества по сравнению с лучшими зарубежными аналогами:

- потребляемая мощность ниже в 3–5 раз;
- масса кристаллизатора с ЭМП в 2,5–3,0 раза меньше;
- отсутствуют дополнительные расходы по охлаждению обмоток статора (охлаждение гильзы и обмоток статора совмещено).

Образованная на базе отдела горизонтальных литейных машин «ВНИИМЕТМАШ» компания «Спецмаш» успешно работает над созданием надежного и эффективного непрерывно-литейного оборудования нового поколения и создания на его основе малотоннажных металлургических производств по производству мелкосортového проката (рис. 18).



Рис. 18. Горизонтальные МНЛЗ конструкции «Спецмаш»

Непрерывная разливка металла на литейных машинах валкового типа

Разливка на одно- и двухвалковых литейных машинах позволяет, исключая целый ряд технологического оборудования, получать высококачественные ленты с микрокристаллической и аморфной структурой. Технология и оборудование для получения лент из аморфных сплавов разработаны в «ЦНИИчермет» и «ВНИИМЕТМАШ». Благодаря уникальным свойствам ленты с аморфной структурой находят применение в приборостроении, металлургии, электротехническом, энергетическом и химическом машиностроении, при производстве композиционных материалов и материалов для стелс-технологий (рис. 19).

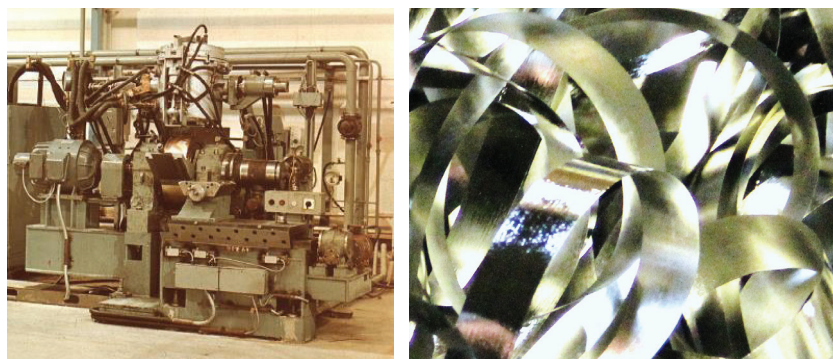


Рис. 19. Машина «Сириус» конструкции «ВНИИМЕТМАШ» для производства аморфной ленты

Оборудование прокатных цехов

Одним из крупнейших отечественных производителей разнообразного прокатного оборудования является ЭЗТМ, обладающий при этом значительным экспортным потенциалом. Так, в рамках межправительственного соглашения на кубинский металлургический завод Antillana de Асего поставляется новое оборудование сортового прокатного стана 250 (рис. 20) и нагревательной печи. Для индийского заказчика изготовлен трубопрокатный стан ХПТ-65 (рис. 21), отличающийся высоким уровнем автоматизации. Стан предназначен для производства высокоточных холоднокатаных труб диаметром 14–45 мм из полый заготовки диаметром 24–69 мм. Скорость движения клетки может варьироваться до 80 ходов в минуту. Стан представляет собой машину непрерывного действия, работающую без остановки на перезарядку заготовки. Для компаний, входящих в структуру ГК «Росатом», завершается изготовление стана с подогревом валков косовалковой машины, подписан контракт на изготовление стана холодной прокатки труб ХПТ-32. Для ОЭМК начата отгрузка оборудования двух шаропрокатных станов ШПС20-60.

Большое число трубопрокатных станов (рис. 22) изготовлено ЭЗТМ для отечественных трубных заводов (ТМК, ЧТПЗ, Выксунского и Северского трубопрокатных заводов и др.). В последние годы значительное количество станов холодной прокатки труб изготовлено Институтом «Цветметобработка». По заключенным в 2022 г. договорам предполагается поставка восьми станов холодной прокатки труб (ХПТ) 10–45 (рис. 23, а) для изготовления труб диаметром от 10 до 45 мм и толщиной от 0,5 до 5 мм для применения в атомной промышленности. Ранее подобные трубы поступали с предприятий Украины. Кроме того, для предприятий атомной промышленности создан стан прокатки особо тонкостенных труб малого диаметра ХПТР 4–20 (см. рис. 23, б). Листопрокатный стан дуо-кварто-300 конструкции ВНИИМЕТМАШ показан на рис. 24.



Рис. 20. Сортовой прокатный стан 250



Рис. 21. Стан холодной прокатки труб ХПТ-65



Рис. 22. Трубопрокатные станы конструкции ЭЗТМ



а



б

Рис. 23. Трубопрокатные станы конструкции ЭЗТМ «Цветметобработка»

а – ХПТ 10-45; *б* – ХПТР 4-20



Рис. 24. Листопрокатный стан дуо-кварто-300 конструкции «ВНИИМЕТМАШ»

В МИСИС созданы раскатной стан радиально-сдвиговой прокатки (РСП) специальной конструкции (рис. 25) и специализированная клеть РСП с повышенными углами подачи валков — 18° в качестве сменного дополнительного оборудования к стану для предварительного обжатия непрерывнолитых заготовок, освоена технология РСП для интенсивной деформации непрерывнолитых заготовок, повышающие эффективность существующего производства бесшовных труб и комплексное ресурсосбережение в АО Первоуральский новотрубный завод «ПНТЗ». Предприятие ШПС, образованное на базе отдела деталепрокатных станков «ВНИИМЕТМАШ», успешно работает над созданием деталепрокатных станков различного назначения, в том числе для прокатки шаров (рис. 26). В 2022 г. ЗАО «Прочность» выполнен проект печного и газопроводящего оборудования газовой проходной нагревательной методической печи с шагающим подом для ПАО «Северсталь» (рис. 27).



Рис. 25. Стан радиально-сдвиговой прокатки конструкции МИСИС

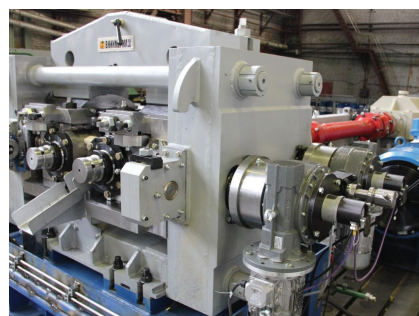


Рис. 26. Шаропрокатный стан конструкции ВНИИМЕТМАШ на ЧерМК

Транспортное оборудование

Широкий спектр горнодобывающего, металлургического, подъемно-транспортного и нестандартного оборудования для различных отраслей промышленности выпускает новый член МС «Металлургмаш», одно из старейших машиностроительных предприятий России с богатыми традициями и внушительным послужным списком, — Иркутский завод тяжелого машиностроения (ИЗТМ). На рис. 28 представлено лишь одно из многочисленных направлений деятельности этого предприятия — рельсовый транспорт металлургических заводов.

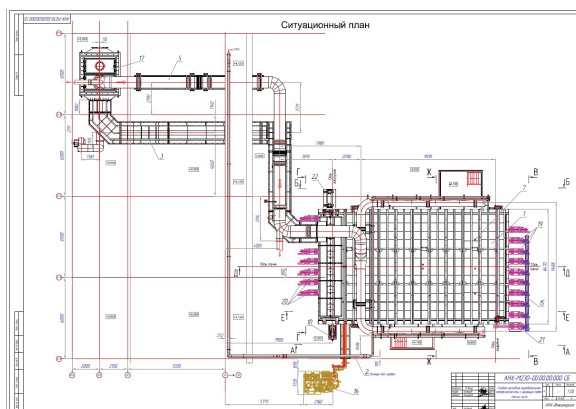
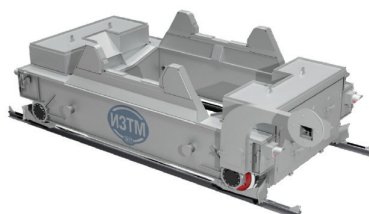


**Рис. 27. Газовая проходная нагревательная методическая печь
ПАО «Северсталь»**



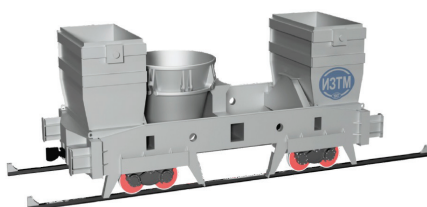
Платформа-транспортер



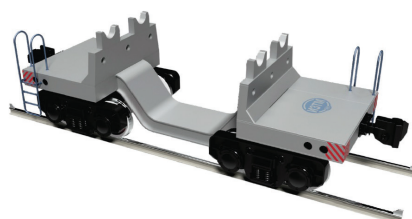
Сталевозы гп до 240 т



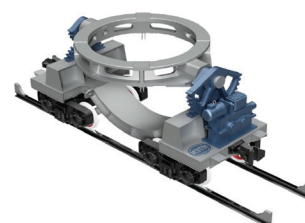
Сталевозы самоходные
грузоподъемностью свыше 240 т



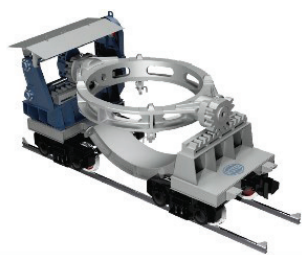
Шлаковозы самоходные



Чугуновозы



Шлаковозы несамоходные
для чаш (секторного типа)



Шлаковозы несамоходные
для чаш (винтового типа)



Толкатели тележечные
(металлургические)



Тележка отбора проб газа

Рис. 28. Рельсовый транспорт ИЗТМ для металлургического производства

Комплексные проекты металлургических объектов

Наряду с разработкой и поставкой различных видов металлургического оборудования научно-производственные фирмы, входящие в состав МС «Металлургмаш», осуществляют разработку и реализацию комплексных проектов сложных объектов различного назначения и производственной мощности. Например, введены в эксплуатацию построенные ГК «МетПром» Ташкентский металлургический завод (рис. 29) по производству холоднокатаного проката с защитными покрытиями мощностью 500 тыс. т/год и Миорский металлопрокатный завод (рис. 30) по производству жести электролитического лужения мощностью 240 тыс. т/год в Беларуси; завершён проект технического перевооружения доменной печи № 6 Нижнетагильского металлургического комбината (НТМК) (рис. 31); завершён проект замены конвертера № 1 Челябинского металлургического комбината; произведён капитальный ремонт 1-го разряда доменной печи № 4 Челябинского металлургического комбината; введена в эксплуатацию спроектированная ГК «МетПром» доменная печь № 3 Череповецкого металлургического комбината.



Рис. 29. Ташкентский металлургический завод



Рис. 30. Миорский металлопрокатный завод



Рис. 31. Доменная печь № 6 НТМК

Оборудование для различных отраслей промышленности

Как правило, предприятия и инжиниринговые фирмы, входящие в состав МС «Металлургмаш», являются многопрофильными и создают наукоемкую машиностроительную продукцию не только для различных металлургических переделов, но и для самых разных

отраслей экономики. Например, ЭЗТМ, наряду с оборудованием для доменных и прокатных цехов, успешно поставляет машиностроительную продукцию для цементной промышленности.

Компанией ООО «Надежность ТМ» отработана технология выполнения работ по обработке отливок бортовых кронштейнов ледокола «Лидер» (рис. 32) массой 250 т с помощью строжки угольными электродами с последующей механической обработкой при использовании парка мобильных станков.



Рис. 32. Обработка крупногабаритных деталей по методу ООО «Надежность ТМ»

ГК «Приводная техника» — один из ведущих электротехнических холдингов России, обеспечивающий полный комплекс инжиниринговых услуг. Среди разработок холдинга:

- преобразователь частоты для управления главными гребными винтами ледокола;
- система управления электроприводами первой в России морской буровой установки на переменном токе;
- силовая преобразовательная часть системы управления и накопителя энергии первого в стране гибридного тепловоза ТЕМ9-Н;
- оборудование электромобиля на базе «ГАЗель Next»;
- промышленные системы накопления и хранения электроэнергии для объектов нефтегазовой промышленности и энергетики;
- серийное производство первых в России низковольтных общепромышленных преобразователей частоты, выполненных по трехуровневой топологии;
- первый в стране электропривод с синхронно-реактивными электродвигателями и преобразователями частоты для ПАО «ЧТПЗ».

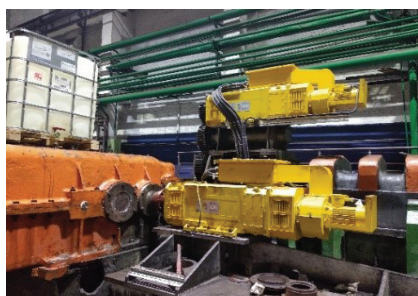


Рис. 33. Преобразователь частоты для управления главными гребными винтами ледокола

Компания «Накал» изготавливает и поставляет предприятиям различных отраслей оборудование для термообработки. Компания внесена в перечень системообразующих организа-

ций российской промышленности и является исполнителем контрактов по изготовлению оборудования в рамках Гособоронзаказа (рис. 34).



Рис. 34. Оборудование конструкции компании «Накал»:

а — двухшнековая проходная барабанная печь для тульского патронного завода;
б — сушильные шкафы во взрывозащищенном исполнении для Завода теплоизоляции УМК

В 2022 г. заказчикам поставлено свыше 500 единиц оборудования, в том числе 29 — для предприятий ГК «Росатом».

В рамках программы импортозамещения создан универсальный камерный агрегат для закалки и цементации в науглероживающей среде, заменяющий аналоги из Германии, Польши, США. В производстве в настоящее время находятся 10 агрегатов общей стоимостью свыше 1 млрд руб.

Компания «ПНЕВМАКС» является одной из ведущих инженеринговых компаний РФ в области гидро- и пневмопривода, в том числе для металлургии и энергетики, производя более 600 станций ежегодно. В частности, гидроприводы «ПНЕВМАКС» успешно работают на слябовых МНЛЗ ПАО «Северсталь» (рис. 35).

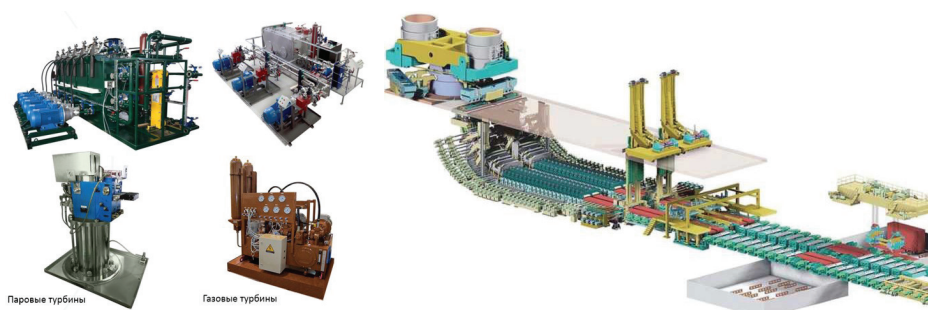


Рис. 35. Разработки компании «ПНЕВМАКС»

В своих разработках организации, входящие в МС «Металлургмаш», широко используют современные методы проектирования и организации производства. Например, важным направлением работ «ЦНИИТМАШ» стало развитие аддитивных технологий. На сегодняшний день «ЦНИИТМАШ» является единственным в РФ разработчиком и поставщиком отечественных 3D-принтеров для печати металлических изделий и разработчиком технологических процессов селективного лазерного сплавления. «ЦНИИТМАШ» уже создал целую гамму установок с рабочими зонами размером от 160 мм более чем до 0,5 м — как одно-, так

и двухлазерных 3D-принтеров (рис. 36, таблица). Главное отличие оборудования от большинства имеющихся на рынке аналогов – его оснащение системами контроля, которые позволяют использовать это оборудование при серийном производстве продукции.



Рис. 36. Оборудование и ПО для аддитивных технологий разработки АО НПО «ЦНИИТМАШ»:

а – 3Dпринтер MeltMaster^{3D}-160; *б* - MeltMaster^{3D}-250HT; *в* - MeltMaster^{3D}-550

**Характеристики оборудования для аддитивных технологий
разработки АО НПО «ЦНИИТМАШ»**

Характеристика	MeltMaster ^{3D} -160	MeltMaster ^{3D} -250HT	MeltMaster ^{3D} -550
Рабочие размеры, мм	150×150×150	240×240×240 90×90×140	550×450×450 (D75×75) 150×150×150 300×300×300
Производительность (макс.), см ³ /ч	3–15	6–45	3–100
Мощность лазера, Вт	200	400	1000
Толщина слоя, мкм	20–50	20–250	20–250
Скорость сканирования (макс.), м/с	10	15	15
Сплавляемые материалы	Нержавеющие и инструментальные стали, сплавы на основе цветных металлов (Ni-Co и др.), титан и его сплавы, сплавы алюминия и др.		

Помимо необходимых для эксплуатации систем контроля, таких как, например, системы разравнивания порошкового слоя, обеспечиваются видеофиксация процесса построения, контроль температуры в пятне сплавления, а также постоянный контроль геометрии при построении. Это позволяет формировать полноценный паспорт изделия как в процессе построения, так и по его результатам и, соответственно, сдавать продукцию как товарную [2].

Важное внимание предприятиями, входящими в МС «Металлургмаш», традиционно уделяется такой актуальной и злободневной теме, как борьба с выбросами в атмосферу парниковых газов. Например, инженерами «Вулкан-ТМ» разработана и предложена к реализации малоуглеродная технология производства железуглеродистых сплавов BRIQSMELT (рис. 37). Это ответ на один из главных вызовов последнего времени – глобальное потепление. Насколько критично это явление связано с деятельностью человека – вопрос пока дискуссионный, но эксплуатировать природные ресурсы и выбрасывать в огромном количестве парниковые газы недопустимо. Начиная с 2019 г. металлургами ряда стран ведутся

работы по безуглеродному способу производства железа, где ставка делается на водород. На первый взгляд все красиво, никакого CO_2 в выбросах, только H_2O . Простое железо так получить можно, но сталь, а тем более чугун, потребуют огромных энергетических затрат на получение H_2 . Дело в том, что на 1 кг H_2 требуется около 80 кВт/ч электроэнергии. Кроме того, получение водорода с использованием «зеленых технологий», безусловно, увеличит стоимость продукта.

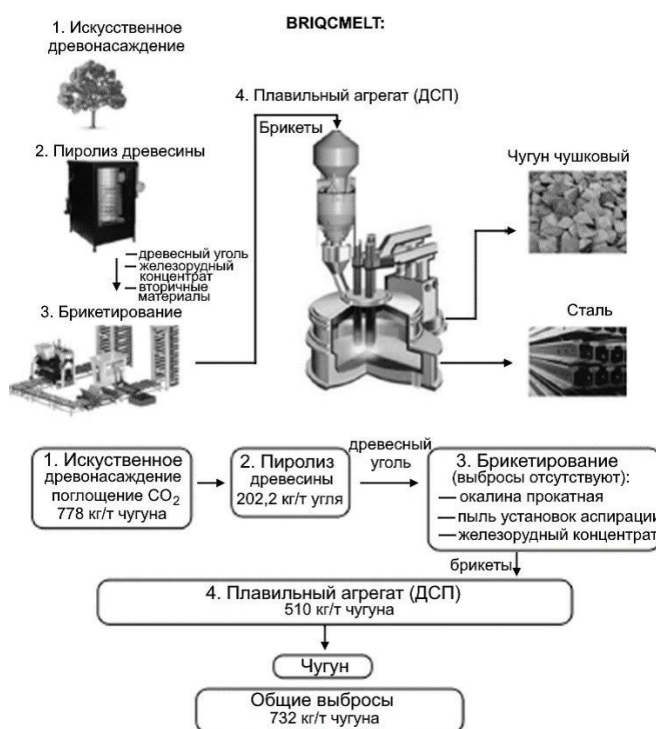


Рис. 37. Малоуглеродная технология на базе процесса BRIQCMELT

Тульскими учеными-металлургами разработана менее затратная, а поэтому и более реальная малоуглеродная технология на базе процесса BRIQCMELT. Основной точкой для этой технологии послужил материал под названием «синтиком» (синтетический композиционный материал), также разработанный в Туле в 90-е годы прошлого века кандидатом технических наук, лауреатом Государственной премии Президента РФ Г.В. Дорофеевым. За последние 20 лет произведено более 150 тыс. т синтикома различного состава. Большая часть поставлялась на экспорт в США. Среди последних композиций синтикома — брикеты, содержащие оксиды железа и восстановитель — углерод. Именно такие брикеты, по мнению разработчиков, можно успешно применять в качестве шихты процесса BRIQCMELT [3].

Получаемая углеродистая сталь будет иметь в 1,5 раза меньшую себестоимость по сравнению с конвертерной сталью и суммарное содержание примесей (Cu, Cr, Ni, Mo, Sn) менее 0,06 %, что обеспечит повышение пластичности и ударной вязкости металла отливок.

Так как процессы восстановительной плавки углеродистой стали и газификация угля в металлической ванне электрической дуговой печи совмещены по времени, то при непрерывной работе такого агрегата монооксид углерода выделяется непрерывно как отходящий газ.

Основу предполагаемой технологии составляет производство углеродистой стали (или чугуна) восстановительной электродуговой плавкой из железорудугольных брикетов. При этом процесс восстановления оксидов железа является преимущественно жидкофазным и осуществляется углем, растворенным в металлической ванне. Данная технология позволяет осуществлять избыточную подачу угля (по отношению к нуждам восстановления) в металлическую ванну и проводить газификацию данного растворенного в металлическом расплаве избыточного углерода кислородом до монооксида углерода непосредственно в металлической ванне.

Отличительной особенностью процесса BRIQCMELT является применение в качестве восстановителя в составе брикета мелочи древесного угля. Для производства такого угля предполагается использовать древесину быстрорастущих деревьев и кустарников. С точки зрения выбросов CO_2 вся цепочка (деревья → уголь → брикет → плавка → железоуглеродистый сплав) имеет отрицательный баланс по CO_2 по причине активного поглощения углекислого газа в процессе фотосинтеза молодыми быстрорастущими деревьями. Учеными обнаружено, что поверхность с молодыми посадками поглощает в год до 7 т углерода, что эквивалентно 25 т углекислого газа. При этом тот же самый гектар насаждений обеспечит производство 4,5 т/год древесного угля. Со строительством и пуском в эксплуатацию предприятия «Тула-чермет-Сталь» Тульский регион становится одним из сталелитейных центров России. Тем самым здесь появляется возможность для реализации новейших металлургических технологий.

Авторы технологий BRIQCMELT из ООО НПП «Вулкан-ТМ» предлагают создать в Тульском регионе карбоновую ферму и организовать на одном из заводов производство чугуна и стали по инновационной технологии. «Вулкан-ТМ» уже сейчас вносит активный вклад в снижение углеродного следа. Выпуск огнеупорных изделий из огнеупорного бетона для литейщиков и металлургов достиг 500 т/год. Можно сказать, что это «зеленые» огнеупоры, поскольку производятся методом вибролитья и проходят термообработку при температуре от 150 до 500 °С в печах с электрическим нагревом. Тем самым выбросы CO_2 равны нулю.

Приведенные примеры далеко не исчерпывают возможности МС «Металлургмаш», тем более что МС расширяется и регулярно пополняется ведущими отечественными производителями металлургического оборудования с широкими интеллектуальными и производственными возможностями. Например, после присоединения признанных лидеров российского металлургического машиностроения «Уралмаш» и ИЗТМ, предприятия, входящие в МС, в состоянии разработать, изготовить и освоить практически всю номенклатуру оборудования горно-металлургического комплекса, реализуя на практике принцип всеобъемлющего и эффективного импортозамещения. Таким образом, организации, входящие в состав МС «Металлургмаш», располагают широким набором уникальных компетенций, опытом создания и освоения высокотехнологичного оборудования и при адресной поддержке правительственных структур и экспертного сообщества способны полностью решить проблемы, связанные с импортозамещением высокотехнологичной продукции, причем не только для металлургических предприятий, но и для самых разных отраслей промышленности.

Все показанные технологии не уступают мировому уровню, а в ряде случаев существенно превосходят зарубежные аналоги, как, например, индукционные нагревательные установки компании «Рэлтек», шиберные затворы и трайб-аппараты компании «Вулкан-ТМ», системы электромагнитного перемешивания металла в процессе разлива и станы холодной прокатки прецизионных труб, разработанные во ВНИИМЕТМАШЕ, и многое другое. Можно сделать оптимистичный вывод: отечественные машиностроители располагают научно-техническим потенциалом и производственной базой, способными решать сложные задачи импортозамещения и технологической независимости с учетом сложной экономической ситуации.

Список литературы

1. Сивак Б.А. Актуальные проблемы и перспективы развития отраслевой науки // Неделя металлов в Москве. 11–14 ноября 2014 г. / сб. трудов конференций. М., 2015. С. 17–25.
2. Орлов В.В. АО НПО «ЦНИИТМАШ» – инновации для энергетического и транспортного машиностроения // Неделя металлов в Москве. 8–11 ноября 2022 г. М.: ВНИИМЕТМАШ, 2023. С. 48–57.
3. Золотухин В.И., Мурат С.Г. Четверть века на службе металлургии. К 25-летию НПП «Вулкан-ТМ» // Неделя металлов в Москве. 8–11 ноября 2022 г. М.: ВНИИМЕТМАШ, 2023. С. 60–67.

References

1. Sivak B.A. (2015) *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya otraslevoy nauki* [Actual problems and prospects of development of branch science] *Nedelya metallov v Moskve* [Metal Week in Moscow] *Sb. trudov konferentsiy 11–14 noyabrya 2014 g.* [November 11–14, 2014. Collection of conference proceedings]. Moscow. P. 17–25.
2. Orlov V.V. (2023) *AO NPO «TsNIITMASH» – innovatsii dlya energeticheskogo i transportnogo mashinostroeniya* [JSC NPO TSNIITMASH-innovations for power and transport engineering] *Nedelya metallov v Moskve. 8–11 noyabrya 2022 g.* [Metal Week in Moscow. November 8–11, 2022] *VNIIMETMASH* [NIIMETMASH]. Moscow. P. 48–57.
3. Zolotukhin V.I., Murat S.G. (2023) *Chetvert' veka na sluzhbe metallurgii. K 25-letiyu NPP «Vulkan-TM»* [Quarter of a century in the service of metallurgy. To the 25th anniversary of NPP Vulkan-TM] *Nedelya metallov v Moskve. 8–11 noyabrya 2022 g.* [Week of Metals in Moscow. November 8–11, 2022] *VNIIMETMASH* [VNIIMETMASH]. Moscow. P. 60–67.

ТРАНСФОРМАЦИЯ И РАЗНООБРАЗИЕ ВОЗМОЖНЫХ ПУТЕЙ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

П.А. Кругликов, гл. науч. сотр., ОАО «НПО ЦКТИ» им. И.И. Ползунова, д-р техн. наук, pak47@mail.ru

Рецензент: Г.В. Томаров, ООО «Геотерм-М», д-р техн. наук, geotherm@gmail.com

Пути развития энергетики в России и в мире являются предметом серьезных дискуссий. Это определяется большим набором неоднозначных обстоятельств и причин. Устойчивое и эффективное развитие электроэнергетики будет определяться разнообразием источников сырья, потребителей, технологических достижений, климатическими условиями и даже политическими факторами.

Ключевые слова: энергоблок, электрическая мощность, коэффициент использования электрической мощности, капитальные затраты, ядерная энергетика, возобновляемые источники энергии.

TRANSFORMATION AND VARIETY OF POSSIBLE WAYS OF ENERGY DEVELOPMENT

P.A. Kruglikov, Chief Researcher, JSC I.I. Polzunov Scientific and Development Association on the Research and Design of Power Equipment, Ph. D., pak47@mail.ru

The paths of energy development in Russia and in the world are the subject of serious discussions. This is determined by a large set of ambiguous circumstances and reasons. The sustainable and efficient development of the electric power industry will be determined by a variety of sources of raw materials, consumers, technological achievements, climatic conditions, and even political factors.

Keywords: power unit, electric capacity, electric capacity utilization factor, capital costs, nuclear power, renewable energy sources.

Предметом бурных обсуждений и разнообразных прогнозов являются пути развития отечественной и мировой энергетики. Это определяется неоднозначным воздействием и влиянием развития возобновляемых источников энергии на нас и окружающий мир, определенным торможением и отчасти стагнацией развития ядерной энергетики, неопределенностью и долговременностью развития новых технологий (термоядерной, водородной и др.), нарастающим ощущением конечности минерально-сырьевых ресурсов, используемых в энергетике, возможным влиянием политических и военных конфликтов на энергогенерацию.

В 2017 г. генеральный директор Госкорпорации «Росатом» А. Лихачев в одном из своих выступлений заявил: «Солнце, ветер, вода и атом, дополняя и усиливая друг друга, должны образовать тот пресловутый «зеленый квадрат», который станет основой будущего мирового безуглеродного баланса» [1].

Этот тезис многократно повторялся и варьировался в выступлениях и заявлениях руководителей ГК «Росатом». Концепция «зеленого квадрата» для ГК «Росатом» реально воплотилась, кроме строительства АЭС, в создании специализированных подразделений «Росатома»: «ВетроОГК-1», «ВетроОГК-2» и «ВетроОГК-3», входящих в АО «Росатом Возобновляемая энергия». Этими подразделениями были пущены первые ветроэлектростанции (ВЭС) «Росатома»: Адыгейская (мощностью 150 МВт), Кармалиновская (60 МВт), Кочубеевская

(210 МВт). На октябрь 2023 г. «Росатом» ввел 9 ветропарков общей мощностью 1,03 ГВт. До 2027 г. планируется довести мощность ветроэлектростанций (ВЭС) до 1,7 ГВт.

С учетом ряда объективных факторов и дискуссионности некоторых положений и концепций попробуем вкратце проанализировать возможное будущее энергетических технологий.

Ориентировочная общая процентная доля различных энергоисточников в мире при производстве электроэнергии и ее динамика приведены в табл. 1.

Таблица 1

Производство электроэнергии в мире, %

Год	Вид источника							
	Уголь, торф	Газ	Нефть	ГЭС	АЭС	Ветер (ВЭС)	Солнце (СЭС)	Прочие
1973	38,3	12,1	24,8	20,9	3,3	0,6 суммарно		
2018	38	23	2,9	16,2	10,1	4,8	2,1	2,9
2023	35	23	2,7	14	9,1	7,8	5,5	2,9

При этом суммарное производство электроэнергии в 1973 г. составляло 6131 ТВт·ч, в 2018 г. — 26615 ТВт·ч, а в 2023 г. — 29925 ТВт·ч. Установленная мощность различных типов электростанций на начало 2018 г. составляла 6892 ГВт, на конец 2023 г. — 8926,8 ГВт. Мощности приведены в табл. 2 по типам станций.

Таблица 2

Установленная мощность электрических станций в мире

Тип эл. станции		ТЭС	ГЭС	АЭС	ВЭС	СЭС	Прочие
Установленная мощность, 2018 г.	ГВт	4279	1267	399	520	393	34
	%	62,1	18,4	5,8	7,5	5,7	0,5
Установленная мощность, 2023 г.	ГВт	4679,5	1260	399,5	1016,5	1416	155,3
	%	52,4	14,1	4,6	11,4	15,8	1,7

Обращает на себя внимание разительное несоответствие доли установленной мощности АЭС и суммарной доли ветровых (ВЭС) и солнечных (СЭС) станций с количеством вырабатываемой ими электроэнергии. К этому вопросу мы еще вернемся.

Нужно отметить, что уже к концу 2019 г. мощность СЭС составляла 663 ГВт, а ВЭС — 980 ГВт, что демонстрирует высокую динамику роста [2].

Двадцатью крупнейшими электростанциями в мире по установленной мощности (на начало 2022 г.) являлись следующие.

ГЭС Three Gorges (Китай) — 22 500 МВт

ГЭС «Байхэтань» (Китай) — 16 000 МВт

ГЭС Itaipu (Бразилия — Парагвай) — 14 000 МВт

ГЭС «Силоду» (Китай) — 13 860 МВт

ГЭС «Белу-Монти» (Бразилия) — 11 230 МВт

ГЭС «Гури» (Венесуэла) — 10 235 МВт

ГЭС «Удундэ» (Китай) — 10 200 МВт

ТЭС на газе «Джебел Али» (ОАЭ) — 8 690 МВт

ГЭС «Тукуруи» (Бразилия) — 8 370 МВт

АЭС «Касивадзаки-Карива» (Япония) — 8 212 МВт; остановлена в 2012 г.

ВЭС «Цзюцюань» (Китай) — 7960 МВт
 ГЭС «Сянцзяба» (Китай) — 7800 МВт
 АЭС «Кори» (Южная Корея) — 7490 МВт
 АЭС «Ханул» (Южная Корея) — 7270 МВт
 ГЭС «Гранд-Кули» (США) — 6810 МВт
 ТЭС на угле «Туокетуо» (Китай) — 6720 МВт
 АЭС «Брюс» (Канада) — 6610 МВт
 ГЭС «Лонгтан» (Китай) — 6425 МВт
 ГЭС «Саяно-Шушенская» (Россия) — 6400 МВт
 АЭС «Хуньянхэ» (Китай) — 6366 МВт

Обращает на себя внимание, что в этом списке из 20 объектов 12 мест занимают крупнейшие ГЭС (причем они занимают первые 7 мест) и 5 АЭС.

Состояние и динамика установленных мощностей электрических станций и производства электроэнергии в РФ отражены в табл. 3.

Таблица 3

**Установленная мощность и производство электрической энергии
электростанциями России на январь 2025 г. [3]**

Показатель		Всего ЕЭС РФ	ТЭС	ГЭС	АЭС	Ветровые (ВЭС)	Солнечные (СЭС)
Установленная мощность	ГВт	263,7	172	50,3	34,55	3,85	3,0
	%	100	65,2	19,1	13,1	1,5	1,1
Производство эл. энергии	млрд кВт·ч	1180,7	676,5	204,26	214,9	8,26	3,54
	%	100	57,3	17,3	18,2	0,7	0,3

Небольшая разница в суммарном производстве электроэнергии и производстве по типам станций определяется неучетом в таблице электростанций промышленных предприятий, доля которых в общей выработке составляет около 6 %.

Нужно отметить, что в РФ установленная мощность СЭС составляла на 2017 г. 0,57 ГВт, т. е. за 7 лет мощность этого типа станций выросла в 5 раз. А ВЭС увеличили свою установленную мощность за 6 лет (с 2018 г.) практически в 4 раза. На ТЭС относительная выработка электроэнергии за последний год имела небольшую тенденцию к снижению, что может быть объяснено погодными условиями и реализацией соглашения с ОПЕК по снижению добычи нефти.

Экспорт электроэнергии Россией осуществляется в энергосистемы Беларуси, Грузии, Абхазии, Азербайджана, Казахстана, Киргизии, Монголии, Китая, Турции. Однако общий экспорт электроэнергии за 2024 г. сократился на 17,6 % и составил 8,53 млрд кВт·ч.

По суммарной выработке электроэнергии в последние 2–3 года Россия входит в первую четверку стран мира, уступая по выработке электроэнергии только Китаю (более 9 ТВт·ч), США (более 4,4 ТВт·ч) и Индии (более 1,9 ТВт·ч) [4]. При этом, по заявлению министра энергетики РФ, российская структура топливно-энергетического баланса — одна из самых «зеленых» в мире, так как на угле вырабатывается примерно 15 % электроэнергии. В Китае этот показатель — на уровне 70 %, в США и ФРГ — около 40 % [5].

Пик мировой выработки электроэнергии угольными станциями был достигнут в 2014 г.: 41 % мирового производства при генерирующей мощности около 2000 ГВт. Угольную энергетику используют 77 стран мира. Вместе с тем в 2018 г. 27 стран присоединились к Альянсу поэтапного отказа от угольной генерации. Для сравнения — доля некоторых стран в мировой угольной генерации на 2018 г.: Китай — 47 %; США — 14 %; Индия — 11 %; РФ — 2 % [5].

Политические реалии и события, несомненно, накладывают свой отпечаток на развитие мировой и национальной энергетики. После начала СВО в феврале 2022 г. и введения экономических санкций против России стратегия импортозамещения стала ключевым направлением развития экономики. Энергетический сектор России столкнулся с серьезными проблемами и новой энергореальностью. Основной удар был нанесен по нефтегазовому комплексу. Нужно отметить, что РФ до начала СВО занимала более трети газового рынка Европы. С введением санкций и подрывом газопроводов произошло запрещение поставок оборудования и технологий для нефтегазовой отрасли. Ряд стран с декабря 2022 г. ввели полный запрет на импорт российских нефти и газа. Евросоюз принял решение о снижении поставок энергоносителей из России. В 2024 г. экспорт нефти и газа в страны ЕС сократился на 50 %. Несмотря на сокращение экспорта в Европу, Россия смогла перенаправить часть поставок в Азию. Доходы от экспорта нефти и газа в 2024 г. на 10 % превысили доходы 2023 г. А с февраля 2023 г. РФ перестала поставлять нефть в страны, использующие фиксированные предельные цены.

Несмотря на постоянный рост генерации электроэнергии и установленной мощности различного типа электростанций, по ряду оценок, около 1 млрд человек на планете не имеют доступа к электричеству, а в наименее развитых странах потребление электроэнергии на душу населения примерно в 30 раз меньше, чем в США.

Одно из наиболее спорных и дискутируемых направлений развития электроэнергетики — будущее и перспективы атомной энергетики. На январь 2023 г. в 33 странах работало 413 реакторов (не включая остановленных на длительный срок) общей мощностью около 380 ГВт, и 57 реакторов находились в стадии сооружения. Страны-лидеры по количеству блоков и их мощностям указаны в табл. 4 [6].

Таблица 4

Количество и мощность АЭС по странам

Страна	США	Франция	Китай	Россия	Япония
Кол-во блоков АЭС	98	58	56	39	33
Мощность АЭС, ГВт	102,7	65,8	45,5	28,5	36,5*

* Без учета остановленных после аварии на Фукусиме.

В планах развития АЭС в мире на 2020–2025 гг. — строительство 49 новых блоков общей мощностью 53,5 ГВт. Четверть этих плановых мощностей приходится на Китай. Активно наращивать мощности АЭС планируют Индия, ОАЭ, Южная Корея. Вместе с тем существует и обратная тенденция. Если, например, в 2020 г. в мире было пущено 5 новых блоков АЭС (2 — в Китае, по одному — в РФ, Беларуси и ОАЭ), то 6 блоков АЭС было остановлено.

Отказ от использования АЭС продекларирован Германией, Швейцарией, Италией, Испанией, Бельгией. Приостановлены по различным политическим, экономическим или техническим причинам программы атомной энергетики Литвы, Австрии, Кубы, КНДР, Польши. Отказались от создания программ атомной энергетики Норвегия, Португалия, Австралия, Греция, Дания, Латвия и ряд других стран. Основными мотивами провозглашаются: опасность аварий и их последствия, проблемы хранения отработанного ядерного топлива (ОЯТ), высокая стоимость строительства и демонтажа.

Первая крупная авария на АЭС произошла 28 марта 1979 г. в США на АЭС «Три-Майл-Айленд». Из-за ошибок персонала произошел расплав 53 % активного отсека реактора; 185 м³ радиоактивной жидкости ушло в реку; 200 тыс. человек было эвакуировано; для восстановления разрушенного блока потребовалось 12 лет и 1 млрд долларов.

В СССР 25 апреля 1986 г. произошел взрыв 4-го блока Чернобыльской АЭС. В воздухе оказалось 190 тонн радиоактивных частиц, дозы облучения были превышены в радиусе 30 км,

загрязнение затронуло 19 регионов с населением 2,6 млн чел.; проект «Укрытие» (саркофаг) стоил 2 млрд евро.

Авария на АЭС Фукусима (Япония) произошла 11 марта 2011 г. В результате цунами произошли отказ систем энергоснабжения и охлаждения, расплав топлива в трех реакторах, затем — взрыв водорода с гибелью людей; из зараженных районов в 2012 г. более 100 тыс. жителей было эвакуировано. Работы по извлечению отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) были отложены до 2023 г. из-за задержки разработки роботизированного манипулятора, так как апробированной технологии в тот момент не было. Полное завершение вывода блоков рассчитывают реализовать после 2041 г. Общие расходы на демонтаж оцениваются ориентировочно в 75 млрд долл., на полный демонтаж потребуется не менее 40 лет [7].

Кроме указанных крупнейших аварий, регулярные инциденты на АЭС не являются исключениями. Так, 03.02.2021 на исследовательском тяжеловодном реакторе NIST в США при пуске был превышен радиационный фон в здании. Несколько работников подверглись воздействию повышенного уровня радиации. Реактор был заглушен.

Внутри станции «Олкилуото» (Финляндия) 19.12.2020 произошло повышение уровня радиации, последовала экстренная остановка реактора [8].

Было бы несправедливо упрекать в крупных техногенных катастрофах только атомную отрасль. Например, крупнейшая в современной истории техногенная авария на американском химическом заводе в Бхопале (Индия) в 1984 г. унесла жизни не менее 18 тыс. человек.

К сожалению, настороженное отношение к развитию атомной энергетики вызвано не только крупными, хотя и единичными, авариями. Перечислим еще несколько факторов, препятствующих широкому внедрению АЭС как основной энерготехнологии. АЭС весьма дороги, особенно с учетом наращивания дорогостоящих систем безопасности: их окупаемость в лучшем случае составляет не менее 20 лет. Такая прибыльность, как правило, не устраивает финансистов. Развитие АЭС в странах, не обладающих исторически развитыми ядерными технологиями, весьма проблематично. Такие страны не обладают соответствующими научными школами, отсутствует задел НИР и ОКР, нет механизма воспроизведения компетентных кадров. Ядерная энергетика в этих странах становится «сателлитной», т.е. основные компетенции остаются у разработчиков и поставщиков технологии. Насто-раживающим фактором остается зависимость развития ядерных технологий от политической ситуации. Развитие атомной энергетики связано с оружием, и передача новому государству ядерных технологий всегда таит опасность возникновения военной ядерной программы. Упоования на то, что АЭС улучшат ситуацию с декарбонизацией на планете, утопичны, так как их роль в декарбонизации Африки или Латинской Америки, мягко говоря, несостоятельна. Ко всему прочему, остаются проблемы с захоронением ОЯТ и радиоактивных отходов (РАО) и серьезные протестные настроения населения в ряде стран.

Россия в 2025 г. отмечает 80-летний юбилей атомной отрасли и остается одной из ведущих стран в развитии и продвижении атомной энергетики. Госкорпорация «Росатом» занимает более 80 % рынка строительства АЭС в мире и ведет 22 экспортных проекта.

В 2020 г. пущена первая в мире атомная электростанция на базе плавучего энергоблока «Академик Ломоносов» (ПАТЭС). Идет строительство АЭС в Турции, КНР, Индии, Бангладеш, Венгрии, Египте, Иране. Планируется пуск 11 новых блоков в России до 2042 г. На различных стадиях находится оформление документации для строительства АЭС в Бразилии, Киргизии, Мьянме, Нигерии, Саудовской Аравии, Узбекистане, Казахстане и Шри-Ланке. В 2020 г. в РФ АЭС выработали 20 % всей производимой в стране электроэнергии, а в 2024 г. — более 18 %. В 2021 г. «Росатом» попросил у Правительства России государственной поддержки в вопросе приравнивания атомной энергетики к «зеленой» генерации на международном уровне и получения «зеленого» сертификата для АЭС, вследствие того что они делят первое место с ветрогенерацией по удельным выбросам CO₂.

Вместе с тем в целом активная и целенаправленная позиция «Росатома» по развитию атомной энергетики вызывает ряд дискуссионных вопросов. Одним из главных являются условия контрактов на зарубежное строительство. В частности, по строительству АЭС «Аккую» в Турции (4 блока по 1,2 ГВт) предусматривается финансирование строительства исключительно за счет средств РФ, без финансовых обязательств Турции; схема возврата средств предусматривает продажу электроэнергии турецким потребителям по фиксированной цене (12,35 цента США за 1 кВт·ч) по 2037 г. без учета инфляции и эскалации цен; РФ несет ответственность за вывод АЭС из эксплуатации и обращение с ОЯТ; все страхование рисков по физической защите АЭС, надежности и обучению персонала, ответственности за возможный ядерный ущерб ложится на РФ; кредитование – беспроцентное [9].

Ориентировочно на похожих условиях, получивших название «строй, владей, эксплуатируй», строятся взаимоотношения с Египтом, получившим от РФ государственный кредит в 30 млрд долларов, покрывающий 85 % общих расходов на строительство АЭС. В проект АЭС в Бангладеш «Росатомом» вложено 12 млрд долларов, которые покрывают 90 % общей стоимости строительства [10].

Как уже отмечалось, одной из наиболее бурно развивающихся технологий электроэнергетики сегодня являются возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Их несомненные плюсы: экологическая чистота, в частности отсутствие выбросов CO₂, отсутствие затрат на топливо, сохранение ископаемого потенциала Земли, кажущаяся доступность для любых стран и объединений при отсутствии собственных месторождений ископаемого сырья.

Наиболее бурно идет развитие ветроэлектростанций (ВЭС). В 2020 г. в Европе на основе ВИЭ, включая и гидроэлектростанции (ГЭС), выработано электроэнергии больше, чем на основе ископаемого топлива (38 % против 37 %). В том же 2020 г. в Великобритании доля ВИЭ и ГЭС по выработке электроэнергии составила 44,6 % [11]. Наибольшее распространение получают офшорные или шельфовые ВЭС, чье основание жестко крепится к морскому дну на небольшой глубине шельфовых зон. В 2018 г. в Великобритании было введено почти 3 ГВт ВЭС. Одна из крупнейших – Moray Firth East мощностью 950 МВт и стоимостью 3,3 млрд долларов. На конец 2024 г. мощность ВЭС в Европе составляла примерно 285 ГВт.

Вместе с тем развитие ВИЭ порождает зачастую и ряд нерешаемых вопросов. Одной из самых слабых, экономически уязвимых сторон ВИЭ является низкий коэффициент использования установленной мощности (КИУМ). Этот коэффициент является отношением фактической выработки электроэнергии станцией за определенный период эксплуатации к теоретически возможной выработке за этот же период при работе без остановов на номинальной мощности. Зачастую его используют как отношение числа часов работы в году, эквивалентное работе на номинальной мощности, к 8760 ч, т.е. годовой продолжительности в часах. Для станций с ВИЭ ограничениями КИУМ являются неравномерность и нерегулируемость источника (ветра, солнца).

Средняя расчетная себестоимость производства электроэнергии на протяжении жизненного цикла электростанции – LCOE (Levelized cost of energy) – включает все инвестиции, затраты и доходы.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{K_t + I_t + C_t}{(1+E)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{W_t}{(1+E)^t}},$$

где: K – капиталовложения; I – издержки производства; C – затраты топлива; W – производство электроэнергии; t – текущий год; n – количество лет полного жизненного цикла станции; E – ставка дисконтирования.

Станции с ВИЭ, выигрывая по показателю C_t , становятся убыточными при корректном учете W_t , т.е. чем меньше КИУМ, тем выше тариф на электроэнергию. В России в 2016 г. КИУМ ВЭС составлял 5 %, СЭС — 13 %. По данным за 2018 г. КИУМ ВЭС возрос до 18 %, а СЭС до 14 %, при этом КИУМ ТЭС составил 46,5 % [12]. Для сопоставления можно указать, что для АЭС России КИУМ в 2020 г. составил 81,5 %. Успешным внедрение ВИЭ может быть только при учете индивидуальных климатических особенностей страны. КИУМ ВИЭ в России значительно ниже, чем в некоторых зарубежных странах, и соответственно стоимость электроэнергии на отечественных энергообъектах ВИЭ кратно выше. Кроме того, использование нестабильных источников энергии требует дополнительных затрат для надежности энергосистемы: резервирования мощностей, создания дорогостоящих систем аккумуляции. В подавляющем большинстве стран ВИЭ, по сути, выведены из зоны действия законов рыночной экономики, что создает иллюзию их низкой стоимости.

Как правило, для ВИЭ гарантируется сбыт производимой электроэнергии в любых объемах и в любое время по заранее установленной цене. В ряде стран существуют дополнительные стимуляторы для развития ВИЭ. Введение платы за выбросы CO_2 — это также мера по повышению конкурентности ВИЭ.

Так как ВИЭ зависят от условий окружающей среды и не могут поставлять потребителям гарантированную мощность, то их субсидирование идет через специнвестконтракты, налоговые льготы и льготные банковские кредиты. Сейчас в РФ поддержка ВИЭ осуществляется за счет повышенных выплат с оптового энергорынка, так как договоры на поставку «зеленой» мощности (ДПМ ВИЭ) гарантируют возврат инвестиций за 15 лет. Эта программа закончилась в 2024 г., и инвесторы в ВИЭ активно лоббируют ее продолжение. При этом тарифы ВИЭ в РФ в 2–3 раза выше, чем в ЕС; КИУМ на лучших ВЭС не выше 27 %, а на СЭС — не выше 14 %, LCOE ВИЭ выше оптовых цен в 3–5 раз, а достигаемое снижение выбросов CO_2 составляет 0,2 % эмиссии в РФ. Достижение « сетевого паритета », т.е. равной цены электроэнергии от ВИЭ и покупки от сети, оценивается, по данным «Совета рынка», в 15 лет. И все же сторонники ВИЭ, признавая, что они во всем мире сегодня некупаемы и для их развития нужно внедрение различных механизмов поддержки, лоббируют внедрение 2-го этапа поддержки «зеленой» энергетики с 2025 по 2035 г. [13].

Несомненно, существует и политическая составляющая в тенденции к пропагандированию ВИЭ и осуждению использования минерально-сырьевых источников энергии, а точнее — стран, имеющих и использующих эти источники, прежде всего РФ. Эти страны объявляются виновниками экологически неблагоприятных тенденций планеты. Есть еще ряд аспектов, которые отнюдь не благоприятствуют бурному развитию ВИЭ.

ВИЭ не смогут заменить углеродную энергетику по причинам земельным и пространственным. Для обеспечения всех жителей Земли таким же количеством энергии, которая составляет половину потребления жителя США, ВЭС и СЭС должны покрыть территорию площадью с Южную Америку [14].

Существуют негативные экологические последствия применения ВИЭ: гибель птиц и насекомых, угрожающая биоразнообразию. Инфраструктура вокруг них может серьезно нарушить естественную среду обитания животного мира.

Параметры наиболее крупных ВЭС достигают циклопических размеров. При единичной мощности ветроустановки, приближающейся к 8 МВт, диаметр ротора приближается к 180 м, а длина лопасти доходит до 80 м, масса лопасти — до 35 т, высота башни — до 90 м. Для РФ степень локализации производства оборудования ВЭС, как правило, не превышает 60 %.

Существуют проблемы и с выводом ВИЭ, в частности ВЭС, из эксплуатации. К 2025 г. в Европе в выводе из эксплуатации будут нуждаться более 14 тыс. лопастей ВЭС. Процесс их утилизации затруднен тем, что изготовлены они из сложных композитных материалов, обеспечивающих долговечность и меньший вес. Набор технологий их утилизации в промышленных масштабах недостаточно проработан: включает механическое измельчение,

расщепление ионами растворителя и пиролиз. Этот процесс весьма энергоемок, затратен и неэкологичен.

И еще об экономике ВИЭ в мировых тенденциях. В 2023 г. на ВИЭ приходилось около 30 % мировой выработки электроэнергии. Из них 47 % производили ГЭС, 26 % – ВЭС, 18 % – СЭС, около 9 % приходилось на геотермальную и биоэнергетику. Китай произвел 32 % мирового объема электроэнергии из ВИЭ, США – 11 %, Бразилия – 7 %, Канада – 4,7 %, Индия – 4,3 %.

За десятилетие 2011–2020 гг. крупнейшим инвестором в ВИЭ стал Китай, выделив 758 млрд долларов. На втором месте были США с инвестициями в 356 млрд долларов, на третьем – Япония, 200 млрд долларов. За этот же период европейские страны инвестировали в «зеленую» энергетику 698 млрд долларов [15].

Существуют оценки, сделанные в 2014 г. применительно к отечественной энергетике по стоимости 1 кВт установленной мощности электрических станций с учетом потенциала ВИЭ по КИУМ и необходимым системам аккумуляции и резервирования [16]. Эти данные сведены в табл. 5.

Таблица 5

КИУМ и стоимость установленного кВт мощности различных электрических станций

Тип электростанции	ТЭС	АЭС	Малые ГЭС	ВЭС с аккумуляцией	СЭС (фотоэлектрические)
КИУМ, %	50–60	80–90	30	25	13
Стоимость 1 кВт установленной мощности с учетом КИУМ, долл.	2000–3000	5000	5000	10 000	38 500

Удельные выбросы CO₂ (г/кВт·ч) в целом по энергосистеме РФ значительно ниже, чем в США, Китае и среднемировые. КИУМ ВИЭ в России также ниже, чем за рубежом. Стоимость электрической энергии ВИЭ в РФ превышает ее стоимость за рубежом, и завышенные «зеленые» тарифы могут сделать нашу промышленность неконкурентоспособной. Очевидно, понимание этого обстоятельства привело к тому, что в марте 2021 г. было принято решение Правительства РФ о 22 %-ном снижении объемов финансирования и поддержки ВЭС и СЭС.

Как одна из перспективных технологий будущего развития энергетики рекламируется и исследуется водородная энергетика. Сегодня огромный спрос на потребление водорода обеспечивают химическая и нефтеперерабатывающая промышленность. Используется водород частично и на транспорте – как правило, на экспериментальных образцах. Основное преимущество водородной энергетики – отсутствие вредных выбросов в атмосферу, так как при электрохимических реакциях с H₂ выделяется только вода. Это является основным аргументом в пользу масштабного внедрения водородной энергетики. Однако в этой технологии есть свои минусы и нерешенные проблемы. Одна из важнейших проблем – безопасность использования и хранения водорода. Отсутствуют надежные технологии и инфраструктура масштабного и безопасного хранения и транспортировки водорода на ТЭС.

Водород – чрезвычайно активный элемент, делающий металлоконструкции более хрупкими и способствующий их постепенному разрушению. Так называемая стресс-коррозия разрушает системы трубопроводов, и особенно сварные швы, при транспортировке водорода. Сам процесс электролиза при производстве водорода требует объемов электроэнергии, которые превышают объемы электроэнергии, получаемые при использовании водорода на ТЭС, а также зачастую могут быть получены далеко не экологически чистым способом.

Если используется технология производства водорода из метана, то все равно происходит образование CO_2 . Существующие сегодня способы производства водорода гораздо дороже, чем добыча нефти или газа, в пересчете на необходимую выработку электроэнергии.

Нельзя не упомянуть еще одну энергетическую технологию будущего – термоядерный синтез. Вопрос управляемого термоядерного синтеза на мировом уровне возник в середине XX века. Несомненными аргументами в его пользу являлись: неисчерпаемые запасы топлива (смесь изотопов водорода, дейтерия и трития), минимальная вероятность аварийного взрыва, отсутствие продуктов сгорания; образующиеся радиоактивные отходы имеют короткий период полураспада и не требуют долговременных хранилищ; не используются материалы, которые могут быть применены для создания ядерных взрывных устройств.

Вместе с тем возникли существенные препятствия между пониманием процессов ядерного синтеза, его практическим использованием и технологическими возможностями. Показательна в этом плане история Международного термоядерного экспериментального реактора (ITER). Участниками этого интернационального проекта являлись страны ЕС (как единый участник), Индия, Китай, Россия, Республика Корея, США, Япония. Была поставлена задача демонстрации возможностей коммерческого использования термоядерного реактора и решения технологических проблем при его реализации. Был выбран реактор типа «токамак» (от русскоязычного сокращения «тороидальная камера с магнитными катушками»). Определено место строительства – исследовательский центр Кадараш на юге Франции. Разработка проекта началась с середины 1980-х годов. Инженерный проект был завершен разработчиками (ЕС, Россия, США, Япония) в 2001 г. В 2007 г. началась подготовка площадки, а в 2010 г. началось строительство. В июле 2020 г. началась сборка реактора. Еще в период проектирования первоначальный пуск планировался на 2016 г., затем последовали сдвиги этой даты на 2019 г. и на 2025 г. Первоначальная стоимость установки оценивалась в 5 млрд евро, в 2015 г. предполагаемая сумма выросла до 19 млрд евро. Ожидается, что ITER, потребляя электрическую мощность 110 МВт, будет производить тепловую энергию мощностью примерно 500 МВт как минимум в течение 500 с.

По последним сообщениям Совета ITER (2024 г.), меняется программа тестирования установки, что приведет к научно обоснованному старту полноценной эксплуатации в 2035 г. О рентабельности установки речь не идет, но в случае успешной реализации проекта после ввода ITER планируется создание электростанции на термоядерном синтезе – ДЕМО (Demonstration Power Plant), с непрерывной генерацией электроэнергии мощностью 2 ГВт, проект которой должен быть закончен к 2030 г., строительство – в 2031–2043 гг., пуск первой очереди – не позднее 2048 г.

В различных направлениях исследования термоядерного синтеза и создания экспериментальных установок типа «токамак» ведутся в России, США, Великобритании, Китае, Японии.

В своем стремлении овладеть энергетическим потенциалом человечество идет на самые неожиданные и смелые эксперименты. В 2000 г. в США произвели попытку передачи энергии из космоса на Землю, используя модуль с солнечной панелью на космическом корабле и передатчик микроволновой энергии.

Выводы

1. Ядерная энергетика продолжает занимать существенную нишу в мировом энергопроизводстве. Несмотря на ряд факторов, замедляющих ее рост в общем энергобалансе планеты, на ближайшие десятилетия АЭС продолжают оставаться одним из важнейших производителей электроэнергии. В России доля АЭС в выработке электроэнергии превышает 18 % и имеет перспективы роста.

2. Возобновляемые источники энергии, в первую очередь ветровые и солнечные электростанции, в силу ряда климатических, экономических и технологических причин не смогут стать основой производства электроэнергии для населения Земли, и в частности для

Российской Федерации. Отдельно следует рассматривать перспективы развития гидроэлектростанций, являющихся крупнейшими единичными источниками энергии.

3. Развитие новых технологий (термоядерной, водородной и др.) получения электроэнергии и сроки их выхода на промышленные объемы производства зачастую непредсказуемы. Вместе с тем, наряду с традиционными источниками, основанными на ископаемом сырье, а также ядерными технологиями, они, несомненно, могут занять свой сегмент в энергообеспечении Земли в XXI веке.

4. Стабильное, надежное и эффективное развитие и функционирование электроэнергетики могут быть обеспечены определенным разнообразием составляющих ее частей, зависящим от наличия сырьевых источников, вида потребителей, климатических условий, технологической базы, международной обстановки и ряда других факторов.

Список литературы

1. Regnum News. Ru. 06.10.2017.
2. EES EAEC: Мировая энергетика. URL: www.sites.google.com (дата обращения: 29.04.2025).
3. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2024 г.
4. BP Statistical Review. 2023.
5. Bigpower News. 28.02.2023, 03.07.2018.
6. Эксперт Ру. 01.02.2024.
7. Atominfo.Ru. 26.12.2024; Российское атомное сообщество. 12.04.2022; ТАСС. 26.02.2022.
8. Atominfo.Ru. 04.02.2023.
9. Соглашение между Правительством РФ и Правительством Турецкой Республики о сотрудничестве в сфере строительства и эксплуатации АЭС на площадке «Аккую» от 29.11.2010 № 322-ФЗ.
10. Ино ТВ. 01.11.2022.
11. Agora Energie wende Ember EC. URL: <http://renen.ru> (дата обращения: 29.04.2025).
12. Белобородов С.С. Снижение эмиссии CO₂: развитие когенерации или строительство ВИЭ // Энергосовет. 2018. № 1 (51).
13. URL: www.proatom.ru (дата обращения: 29.04.2025). Big power News 28.05; 09.10; 24.10;30.10; 13.12.2023
14. URL: <http://next75.ru> (дата обращения: 29.04.2025).
15. О проблемах развития мировой энергетики и ВИЭ // Энергетика за рубежом. 2020. № 4.
16. Осадчий Г.Б. Использование солнечной энергии для бесперебойного электроснабжения децентрализованных потребителей России // Энергетик. 2014. № 3.

References

1. Regnum News. Ru. 06.10.2017.
2. EES EAEC: *Mirovaya energetika* [Global energy]. Available at: www.sites.google.com (date of access: 29.04.2025).
3. *Otchet o funktsionirovanii EES Rossii v 2024 g.* [Report on the functioning of the UES of Russia in 2024].
4. BP Statistical Review. 2023.
5. Bigpower News. 28.02.2023, 03.07.2018.
6. Ekspert Ru [Expert.ru]. 01.02.2024.
7. Atominfo.Ru, 26.12.2024; *Rossiyskoe atomnoe soobshchestvo* [Russian Atomic Community], 12.04.2022; ТАСС, 26.02.2022.
8. Atominfo.Ru. 04.02.2023.

9. *Soglasenie mezhdru Pravitel'stvom RF i Pravitel'stvom Turetskoy Respubliki o sotrudnichestve v sfere stroitel'stva i ekspluatatsii AES na ploshchadke «Akkuyu» ot 29.11.2010 No. 322-FZ* [Agreement between the Government of the Russian Federation and the Government of the Republic of Turkey on Cooperation in the construction and Operation of nuclear power Plants at the «Akkuyu» No. 322-FZ dated 29.11.2010].

10. *Ino TV* [Ino Tv] 01.11.2022.

11. Agora Energie wende Ember EC. Available at: <http://renen.ru> (date of access: 29.04.2025).

12. Beloborodov S.S. (2018) *Snizhenie emissii SO₂: razvitie kogeneratsii ili stroitel'stvo VIE* [Reduction of CO₂ emissions: development of cogeneration or construction of renewable energy sources] *Energosovet* [Power supply system]. No. 1 (51).

13. Available at: www.proatom.ru (date of access: 29.04.2025). Big power News 28.05; 09.10; 24.10;30.10; 13.12.2023

14. Available at: <http://next75.ru> (date of access: 29.04.2025).

15. *O problemakh razvitiya mirovoy energetiki i VIE* [On the problems of global energy and renewable energy development] *Energetika za rubezhom* [Energy industry abroad]. 2020. No. 4.

16. Osadchiy G.B. (2014) *Ispol'zovanie solnechnoy energii dlya bespereboynogo elektrosnabzheniya detsentralizovannykh potrebiteley Rossii* [Use of solar energy for uninterrupted power supply of decentralized consumers in Russia] *Energetik* [Power engineer]. No. 3.

ОСОБЕННОСТИ ИММУНОПАТОГЕНЕЗА ПРИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ХРОНИЧЕСКОЙ ОБСТРУКТИВНОЙ БОЛЕЗНИ ЛЕГКИХ И ЕЕ СОЧЕТАНИИ С АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ

С.А. Бабанов, зав. каф. ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет», д-р. мед. наук, профессор, s.a.babanov@mail.ru

М.Ю. Вострокнутова, зав. отд. — врач-профпатолог ГБУЗ СО «Самарская городская больница № 5», аспирант, vostroknutovamarina@yandex.ru

И.Н. Васина, врач-профпатолог ГБУЗ СО «Самарская городская больница № 5», shchepotevai@mail.ru

А.Г. Байкова, рук. обл. центра ГБУЗ СО «Самарская городская больница № 5», канд. мед. наук, antonina.shishina@mail.ru

А.С. Бабанов, студент ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет», s.a.babanov@mail.ru

М.С. Артемьева, ассистент, ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет», artemeva.mr@yandex.ru

Рецензент: В.Г. Вилков, ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины» Министерства здравоохранения РФ, д-р мед. наук, vilkov_vladimir@list.ru

Оценка клинических данных, функциональных особенностей и иммунопатогенеза профессиональной хронической обструктивной болезни легких (ПХОБЛ) при ее изолированном и коморбидном течении открывает новые возможности в оценке развития, прогнозирования особенностей течения и персонализированного подхода к фармакотерапии ПХОБЛ, а также в разработке индивидуальной стратегии ее первичной и вторичной профилактики.

Ключевые слова: профессиональная хроническая обструктивная болезнь легких, артериальная гипертензия, коморбидное течение, спирография, особенности иммунопатогенеза.

FEATURES OF IMMUNOPATHOGENESIS IN OCCUPATIONAL CHRONIC OBSTRUCTIVE PULMONARY DISEASE AND ITS COMBINATION WITH ARTERIAL HYPERTENSION

S.A. Babanov, Head of Department, Samara State Medical University (SamSMU), Ph.D., Professor, s.a.babanov@mail.ru

M.U. Vostroknutova, Head of Department-Occupational Therapist, SBHI «Samara City Hospital No. 5» Samara region of Russia, Graduate Student, vostroknutovamarina@yandex.ru

I.N. Vasina, Occupational Therapist, SBHI «Samara City Hospital No. 5» Samara region of Russia, shchepotevai@mail.ru

A.G. Baykova, Head of the Regional Centre, SBHI «Samara City Hospital No. 5» Samara region of Russia, Doctor of Medicine, antonina.shishina@mail.ru

A.S. Babanov, Student, Samara State Medical University (SamSMU), s.a.babanov@mail.ru

M.S. Artemieva, Asistent, Samara State Medical University (SamSMU), artemeva.mr@yandex.ru

The assessment of clinical data, functional features and immunopathogenesis of occupational chronic obstructive pulmonary disease (COPD) in its isolated and comorbid course opens up new

opportunities in assessing the development, predicting the features of the course and a personalized approach to the pharmacotherapy of occupational COPD, as well as in developing an individual strategy for its primary and secondary prevention.

Keywords: occupational chronic obstructive pulmonary disease, arterial hypertension, comorbid course, spirometry, features of immunopathogenesis.

Цель исследования. Определение клинико-функциональных особенностей и иммунологических маркеров риска развития ПХОБЛ при ее изолированном течении и сочетании с артериальной гипертензией (АГ).

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 235 больных: 1-я группа ($n = 60$) (контроль) – здоровые добровольцы; 2-я группа ($n = 35$) – ПХОБЛ первой степени тяжести; 3-я группа ($n = 50$) – ПХОБЛ второй степени тяжести; 4-я группа ($n = 40$) – сочетание ПХОБЛ второй степени тяжести и (АГ); 5-я группа ($n = 50$) – изолированное течение АГ. Оценку функции внешнего дыхания проводили на компьютерном спирографе Care Fusion компании MicroLab UK (Великобритания). Определение уровней цитокинов ИЛ-4, ИЛ-6, ИЛ-8, ИЛ-10, ИЛ-17, MCP-1, FGF 2, TGF- β в сыворотке крови проводилось методом твердофазного иммуноферментного анализа с применением наборов и реагентов (ООО «Протеиновый контур», «Вектор-Бест», «Диатекс-Э», «ДИА-плюс», Pharmacia diagnostika). Для исследования содержания в сыворотке крови фактора роста эндотелия сосудов (VEGF) использовали метод твердофазного иммуноферментного анализа сэндвич-типа при помощи набора реагентов фирмы eBioscience. Подсчет результатов оптической плотности производился с помощью многоканального спектрофотометра Dynatech MR 5000 (США), длина волны – 450 нанометров. Оценивались спирометрические и иммунологические данные групп по однофакторному дисперсионному анализу с межгрупповыми сравнениями по критерию Даннетта.

Результаты. Впервые установлены особенности клинических, функциональных и иммунологических проявлений при ПХОБЛ разной степени тяжести при ее изолированном течении и сочетании с артериальной гипертензией.

Ограничения исследования. Исследование имеет региональные (Самарская область) и профессиональные (по детализации условий труда в изучаемых группах сравнения) ограничения.

Заключение. Выявленные клинические, функциональные и иммунологические особенности ПХОБЛ при ее изолированном течении в зависимости от степени тяжести и сочетанном коморбидном течении с артериальной гипертензией могут оптимизировать подход к ранней диагностике, прогнозированию, профилактике и фармакотерапии ПХОБЛ.

Соблюдение этических стандартов. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Согласие пациентов. Каждый участник исследования дал информированное добровольное письменное согласие на участие в исследовании и публикацию персональной медицинской информации в обезличенной форме в сборнике ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ «Инноватика и экспертиза».

Согласно разделу 7 Федеральных клинических рекомендаций «Хроническая обструктивная болезнь легких» (утверждены Ассоциацией врачей и специалистов медицины труда, Москва, 2024) профессиональная хроническая обструктивная болезнь легких (ПХОБЛ) – заболевание, характеризующееся персистирующими респираторными симптомами и ограничением воздушного потока, обусловленными патологией воздухопроводящих путей и/или альвеол, которые вызваны аномальной воспалительной реакцией легочной ткани на воздействие повреждающих частиц или газов производственной среды [1].

Этиологическим фактором профессиональной ХОБЛ может быть любой компонент промышленного аэрозоля, повреждающий клетки дыхательных путей и легочной паренхимы, присутствующий на рабочем месте в течение длительного периода времени. Для развития профессионального заболевания имеют значение химический состав, физические, биологические свойства аэрозоля, концентрация химических веществ и пыли в воздухе рабочей зоны. Этиологическими факторами развития ПХОБЛ являются высокодисперсные сварочные аэрозоли (диоксид азота, диоксид серы, озон, марганец, шестивалентный хром и другие его компоненты), пыль кварцсодержащая, токсичный газ, масляный туман, органическая пыль (пыль птицефабрик и свиноферм, зерновая, хлопковая и др.), угольная пыль, металлическая пыль и пары металлов, диизоцианаты, продукты горения при пожарах, индий, выхлопные газы дизельных двигателей (полициклические ароматические углеводороды, монооксид углерода и другие их компоненты), кадмий, ванадий [2–5]. Потенциально опасными производствами для развития ПХОБЛ считаются: литейное производство, горнорудная, горнодобывающая, угледобывающая, металлургическая, машиностроительная, строительная, цементная, текстильная промышленность, сельское хозяйство и др. Пульмоногенными факторами являются различные виды минеральной и органической пыли, с образованием которой связаны многие производственные процессы в различных отраслях промышленности и сельском хозяйстве. ПХОБЛ может быть диагностирована среди шахтеров, машиностроителей, рабочих зернового производства: мукомолов, зернодробильщиков, работников элеваторов; каменотесов, работников ткацких фабрик, золотоискателей, работающих в горнодобывающей и горнорудной промышленности [6–10].

Прогноз при ПХОБЛ прежде всего определяется состоянием дыхательной системы. Но в случае прогрессирующего течения заболевания – наличием дыхательной недостаточности, хронического легочного сердца, а также снижением трудоспособности, инвалидизацией и преждевременной смертностью работников, подверженных воздействию промышленных аэрозолей химической и фиброгенной природы [11–14]. Все вышеизложенное и определяет актуальность оценки функции внешнего дыхания при ПХОБЛ и ее коморбидных состояниях.

В исследовании приняли участие 235 больных: 1-я группа ($n = 60$) (контроль) – здоровые добровольцы; 2-я группа ($n = 35$) – ПХОБЛ первой степени тяжести; 3-я группа ($n = 50$) – ПХОБЛ второй степени тяжести; 4-я группа ($n = 40$) – сочетание ПХОБЛ второй степени тяжести и АГ; 5-я группа ($n = 50$) – изолированное течение АГ.

В группы обследованных вошли работники учреждений здравоохранения, предприятий нефтегазовой, металлургической, парфюмерной, пищевой промышленности, строительной и сельскохозяйственной сферы. Диагноз устанавливался в соответствии с перечнем профессиональных заболеваний, утвержденным Приказом Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 27.04.2012 № 417н МЗ «Об утверждении перечня профессиональных заболеваний», и Федеральными клиническими рекомендациями «Хроническая обструктивная болезнь легких» (Москва, 2024), критериями GOLD (2024) [1]. Диагноз АГ устанавливался в соответствии с Федеральными клиническими рекомендациями «Артериальная гипертензия у взрослых» (Москва, 2024). Больные артериальной гипертензией были представлены больными эссенциальной АГ I–II степеней, риск 2–3 по критериям ВНОК (2010), ЕОК (2013), нерегулярно принимающими антигипертензивные средства из группы антагонистов кальция дигидропиридиновой группы, не достигающими целевых уровней АД в возрасте от 35 до 65 лет, мужского и женского пола.

Изучение функции легких проводили на компьютерном спирографе Care Fusion компании MicroLab UK (Великобритания) с определением скоростных показателей форсированного выдоха: ФЖЕЛ, ОФВ1, ОФВ1/ФЖЕЛ, ПСВ, МОС 25 %, МОС 50 %, МОС 75 %, а также методом импульсной осцилометрии – ВДС (вязкостное дыхательное сопротивление) [Измеров Н.Ф., Чучалин А.Г., 2015].

Определение уровней цитокинов ИЛ-4, ИЛ-6, ИЛ-8, ИЛ-10, ИЛ-17, MCP-1, FGF 2, TGF- β в сыворотке крови проводилось методом твердофазного иммуноферментного анализа с применением наборов и реагентов (ООО «Протеиновый контур», «Вектор-Бест», «Диатекс-Э», «ДИА-плюс», Pharmacia diagnostika). Для исследования содержания в сыворотке крови фактора роста эндотелия сосудов (VEGF) использовали метод твердофазного иммуноферментного анализа сэндвич-типа при помощи набора реагентов фирмы eBioscience. Подсчет результатов оптической плотности производился с помощью многоканального спектрофотометра Dynatech MR 5000 (США), длина волны — 450 нанометров [16–20]. Оценивались спирометрические и иммунологические данные групп по однофакторному дисперсионному анализу с межгрупповыми сравнениями по критерию Даннетта.

Проводимое исследование было одобрено комитетом по биоэтике при ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России. Исследование выполнено в рамках комплексной темы кафедры профессиональных болезней и клинической фармакологии имени заслуженного деятеля науки Российской Федерации, профессора Косарева В.В. ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России «Проблемы полиморбидности, диагностика, прогнозирование и профилактика профессиональных и производственно-обусловленных заболеваний у работников при изолированном сочетанном воздействии факторов производственной среды и трудового процесса» (регистрационный номер 124053000016-4, дата постановки на учет: 30.05.2024).

Результаты и их обсуждение

При оценке форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ) у больных с первой степенью тяжести ПХОБЛ было обнаружено ее достоверное снижение по сравнению с лицами контрольной группы ($p < 0,001$). Также этот показатель снижен у больных со второй степенью тяжести ПХОБЛ относительно группы контроля ($p < 0,001$). В то же время в группе больных со второй степенью тяжести ПХОБЛ FVC имеет достоверно более низкие значения, чем в группе больных с первой степенью тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$). В группе сочетанного течения второй степени тяжести ПХОБЛ с АГ данный показатель имеет достоверно более низкие значения, чем в группе контроля ($p < 0,001$), в группах изолированного течения ПХОБЛ первой степени ($p < 0,001$) и второй степени тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$). Уровень ФЖЕЛ у больных с АГ достоверно снижен по сравнению с контрольной группой ($p < 0,001$), но имеет достоверно более высокие значения по сравнению с группой сочетанного течения второй степени тяжести ПХОБЛ с АГ ($p < 0,001$).

При анализе ОФВ1 в группах больных с первой степенью тяжести ПХОБЛ и второй степенью тяжести ПХОБЛ было выявлено его достоверное снижение в каждой группе по сравнению с группой контроля ($p < 0,001$). В то же время в группе со второй степенью тяжести ПХОБЛ ОФВ1 имеет достоверно более низкие значения, чем в группе с первой степенью тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$). Достоверно более низкие показатели ОФВ1 выявлены и в группе сочетанного течения второй степени тяжести ПХОБЛ с АГ по сравнению с группой контроля ($p < 0,001$), с группой ПХОБЛ первой степени ($p < 0,001$) и с группой ПХОБЛ второй степени тяжести ($p < 0,001$). Уровень исследуемого показателя у больных с АГ значительно снижен по сравнению с контрольной группой ($p < 0,001$), но имеет достоверно более высокие значения по сравнению с группой сочетанного течения второй степени тяжести ПХОБЛ с АГ ($p < 0,001$).

У группы больных с первой степенью тяжести ПХОБЛ ОФВ1/ФЖЕЛ значительно снижена по сравнению с лицами контрольной группы ($p < 0,001$). Также этот показатель снижен у больных со второй степенью тяжести ПХОБЛ относительно группы контроля ($p < 0,001$). В то же время в группе со второй степенью тяжести ПХОБЛ ОФВ1/ФЖЕЛ имеет достоверно более низкие значения, чем в группе с первой степенью тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$). В группе сочетанного течения второй степени тяжести ПХОБЛ с АГ данный показатель имеет достоверно более низ-

кие значения, чем в группе контроля ($p < 0,001$), также в группах изолированного течения ПХОБЛ первой степени тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$) и второй степени тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$). Содержание ОФВ1/ФЖЕЛ у больных с АГ достоверно снижено по сравнению с контрольной группой ($p < 0,001$), но имеет достоверно более высокие значения по сравнению с группой сочетанного течения второй степени тяжести ПХОБЛ, сочетанной с АГ ($p < 0,001$).

Исследуя ПСВ у больных с ПХОБЛ первой степени тяжести, обнаружили ее достоверное снижение по сравнению с лицами контрольной группы ($p < 0,001$). Также этот показатель снижен у больных со второй степенью тяжести ПХОБЛ относительно группы контроля ($p < 0,001$). Однако в группе больных со второй степенью тяжести ПХОБЛ ПСВ имеет достоверно более низкие значения, чем в группе больных с первой степенью тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$). В группе сочетанного течения второй степени тяжести ПХОБЛ с АГ данный показатель имеет достоверно более низкие значения, чем в группе контроля ($p < 0,001$), в группах изолированного течения ПХОБЛ первой степени ($p < 0,001$) и второй степени тяжести ($p < 0,001$). ПСВ у больных с АГ достоверно снижена по сравнению с контрольной группой ($p < 0,001$), но имеет достоверно более высокие значения по сравнению с группой ПХОБЛ второй степени тяжести в сочетании с АГ ($p < 0,001$) (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение групп с изолированным течением ПХОБЛ и ее сочетании с АГ по однофакторному дисперсионному анализу с межгрупповыми сравнениями по критерию Даннетта в виде среднего и стандартного отклонения ($M \pm SD$) по показателям функции внешнего дыхания

Группы сравнения	Форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ) ($M \pm SD$)	Объем форсированного выдоха за 1 секунду (ОФВ1) ($M \pm SD$)	Модифициро- ванный индекс Тиффно (ОФВ1/ ФЖЕЛ) ($M \pm SD$)	Пиковая объемная скорость выдоха (ПСВ) ($M \pm SD$)
Контроль ($n = 60$)	106,62 $\pm$ 2,82	105,78 $\pm$ 2,50	106,77 $\pm$ 2,71	106,32 $\pm$ 2,22
ПХОБЛ I ($n = 35$)	80,23 $\pm$ 2,17	84,74 $\pm$ 2,42	66,23 $\pm$ 3,87	65,11 $\pm$ 2,54
ПХОБЛ II ($n = 50$)	72,18 $\pm$ 2,93	62,12 $\pm$ 2,55	62,78 $\pm$ 2,48	59,78 $\pm$ 2,35
ПХОБЛ II + АГ ($n = 40$)	68,23 $\pm$ 2,64	54,00 $\pm$ 2,28	52,13 $\pm$ 1,98	52,00 $\pm$ 2,45
АГ ($n = 50$)	98,76 $\pm$ 1,33	96,28 $\pm$ 2,31	96,74 $\pm$ 1,71	98,00 $\pm$ 1,20
p К-ПХОБЛ I	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p К-ПХОБЛ II	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p К-ПХОБЛ II + АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p К – АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p ПХОБЛ I – ПХОБЛ II	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p ПХОБЛ I – ПХОБЛ II + АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p ПХОБЛ II – ПХОБЛ II + АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p ПХОБЛ II + АГ – АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

При оценке таких показателей, как МОС 25 %, МОС 50 % и МОС 75 %, у больных с первой степенью тяжести ПХОБЛ было обнаружено достоверное снижение исследуемых показателей относительно группы контроля ($p < 0,001$). Также данные показатели снижены у больных со второй степенью тяжести ПХОБЛ относительно группы контроля ($p < 0,001$).

Обращает на себя внимание, что в группе больных со второй степенью тяжести ПХОБЛ МОС 25 %, МОС 50 %, МОС 75 % имеют достоверно более низкие значения, чем в группе больных с первой степенью тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$). В группе сочетанного течения второй степени тяжести ПХОБЛ с АГ данные показатели имеют достоверно более низкие значения, чем в группе контроля ($p < 0,001$), в группах изолированного течения первой степени тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$) и второй степени тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$). Значения описываемых показателей у больных с изолированной АГ достоверно снижены по сравнению с контрольной группой ($p < 0,001$), но имеют достоверно более высокие значения по сравнению с группой сочетанного течения второй степени тяжести ПХОБЛ с АГ ($p < 0,001$).

Уровень ВДС, определяемого импульсной осциллометрией, у больных с первой степенью тяжести ПХОБЛ достоверно превышает значения контрольной группы ($p < 0,001$). Также увеличен данный показатель у больных со второй степенью тяжести ПХОБЛ относительно группы контроля ($p < 0,001$). В то же время у больных со второй степенью тяжести ПХОБЛ значение ВДС оказалось достоверно выше, чем у больных с первой степенью тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$). В группе больных со второй степенью тяжести ПХОБЛ при ее сочетании с АГ данный показатель имеет достоверно более высокие значения, чем в группе контроля ($p < 0,001$), в группах изолированного течения ПХОБЛ первой ($p < 0,001$) и второй степени тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$). Нельзя не отметить, что у больных с сочетанным течением второй степени тяжести ПХОБЛ с АГ уровень ВДС достоверно увеличен по сравнению с изолированной АГ ($p < 0,001$). Однако между группой больных с изолированной АГ и группой контроля по исследуемому показателю достоверных различий не выявлено ($p = 0,637$) [26] (табл. 2).

Таблица 2

Сравнение групп с изолированным течением ПХОБЛ и ее сочетании с АГ по однофакторному дисперсионному анализу с межгрупповыми сравнениями по критерию Даннетта в виде среднего и стандартного отклонения ($M \pm SD$) по показателям спирометрии и импульсной осциллометрии

Группы сравнения	Максимальная объемная скорость выдоха на уровне 25 % ФЖЕЛ (МОС 25 %) ($M \pm SD$)	Максимальная объемная скорость выдоха на уровне 50 % ФЖЕЛ (МОС 50 %) ($M \pm SD$)	Максимальная объемная скорость выдоха на уровне 75 % ФЖЕЛ (МОС 75 %) ($M \pm SD$)	Вязкостное дыхательное сопротивление (ВДС) ($M \pm SD$)
Контроль ($n = 60$)	105,22 $\pm$ 2,16	105,52 $\pm$ 2,07	106,88 $\pm$ 2,37	85,22 $\pm$ 1,96
ПХОБЛ I ($n = 35$)	63,37 $\pm$ 2,49	76,26 $\pm$ 1,95	77,29 $\pm$ 1,69	102,17 $\pm$ 2,78
ПХОБЛ II ($n = 50$)	59,82 $\pm$ 1,97	70,42 $\pm$ 2,22	68,14 $\pm$ 3,98	108,32 $\pm$ 3,35
ПХОБЛ II + АГ ($n = 40$)	51,00 $\pm$ 2,20	62,20 $\pm$ 2,09	60,55 $\pm$ 2,95	114,75 $\pm$ 4,18
АГ ($n = 50$)	96,98 $\pm$ 1,56	98,12 $\pm$ 1,08	97,28 $\pm$ 1,41	86,18 $\pm$ 3,68
p К-ПХОБЛ I	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p К-ПХОБЛ II	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p К-ПХОБЛ II + АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p К– АГ	<0,001	<0,001	<0,001	0,637
p ПХОБЛ I – ПХОБЛ II	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p ПХОБЛ I – ПХОБЛ II + АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p ПХОБЛ II – ПХОБЛ II + АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p ПХОБЛ II + АГ – АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

В группе с первой степенью тяжести ПХОБЛ концентрация ИЛ-4 значимо выше относительно группы контроля ($p < 0,001$). У больных со второй степенью тяжести ПХОБЛ уровень ИЛ-4 также оказался достоверно более высоким, чем в контрольной группе ($p < 0,001$), но значимо сниженным по сравнению с группой с первой степенью тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$).

Содержание ИЛ-4 в группе сочетанного течения второй степени тяжести ПХОБЛ с АГ оказалось достоверно более высоким, чем в группе контроля ($p < 0,001$), но достоверно более низким, чем в группе с первой степенью тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$) и второй степенью тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$). У пациентов с АГ уровень ИЛ-4 достоверно увеличен по сравнению с контрольной группой ($p < 0,001$), но при этом имеет достоверно более низкие значения по сравнению с группой сочетанного течения второй степени тяжести ПХОБЛ с АГ ($p < 0,001$).

Концентрация ИЛ-6 в группе больных с первой степенью тяжести ПХОБЛ достоверно выше, чем у лиц контрольной группы ($p < 0,001$). Также достоверно увеличен уровень ИЛ-6 в группе со второй степенью тяжести ПХОБЛ по сравнению с первой степенью тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$), а также с группой контроля ($p < 0,001$). А сочетание второй степени тяжести ПХОБЛ и АГ продемонстрировало достоверно более высокие значения ИЛ-6 по сравнению с лицами контрольной группы ($p < 0,001$), больными с первой степенью тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$) и больными с изолированной второй степенью тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$).

При оценке уровня ИЛ-6 у пациентов с АГ по сравнению с группой контроля значимой достоверности различий не выявлено ($p = 0,087$), однако по сравнению с сочетанным течением АГ и второй степени тяжести ПХОБЛ данный показатель достоверно снижен ($p < 0,001$).

При исследовании концентрации ИЛ-8 и ИЛ-17 у больных с первой степенью тяжести ПХОБЛ было обнаружено, что данный показатель достоверно увеличен относительно лиц контрольной группы ($p < 0,001$). У пациентов со второй степенью тяжести ПХОБЛ концентрация ИЛ-8 и ИЛ-17 достоверно превышала как показатели контрольной группы ($p < 0,001$), так и показатели группы с первой степенью тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$). Достоверно более высокие показатели ИЛ-8 и ИЛ-17 выявлены в группе сочетанного течения второй степени тяжести ПХОБЛ с АГ по сравнению с группой контроля ($p < 0,001$), с группой первой степени тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$) и с группой второй степени тяжести ПХОБЛ изолированного течения ($p < 0,001$).

Содержание ИЛ-8 и ИЛ-17 у больных с АГ достоверно увеличено по сравнению с контрольной группой ($p < 0,001$), но имеет достоверно более низкие значения по сравнению с группой сочетанного течения второй степени тяжести ПХОБЛ с АГ ($p < 0,001$).

Анализ концентраций ИЛ-10 у больных с первой степенью тяжести ПХОБЛ и у лиц группы контроля достоверности различий не выявил ($p = 0,261$). Также не обнаружено достоверности различий по уровню ИЛ-10 при сравнении больных со второй степенью тяжести ПХОБЛ с группой контроля ($p = 0,603$), но по сравнению с группой больных с первой степенью тяжести ПХОБЛ данный показатель достоверно увеличен ($p < 0,001$). При исследовании уровня ИЛ-10 достоверно более высокие показатели выявлены в группе сочетанного течения второй степени тяжести ПХОБЛ с АГ по сравнению с группой контроля ($p < 0,001$), а также с группой первой степени тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$) и с группой второй степени тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$).

Содержание ИЛ-10 у больных с АГ не показало достоверных различий по сравнению с группой контроля ($p = 1,000$). Однако, в группе больных со второй степенью тяжести ПХОБЛ при ее сочетанном течении с АГ выявлены достоверно более высокие значения данного показателя по сравнению с больными с изолированным течением АГ ($p < 0,001$) (табл. 3).

Таблица 3

Сравнение групп с изолированным течением ПХОБЛ и ее сочетании с АГ по однофакторному дисперсионному анализу с межгрупповыми сравнениями по критерию Даннетта в виде среднего и стандартного отклонения ($M \pm SD$) по показателям цитокинового профиля

Группы сравнения	Интерлейкин (ИЛ-4) ($M \pm SD$)	Интерлейкин (ИЛ-6) ($M \pm SD$)	Интерлейкин (ИЛ-8) ($M \pm SD$)	Интерлейкин (ИЛ-10) ($M \pm SD$)	Интерлейкин (ИЛ-17) ($M \pm SD$)
Контроль	28,67 $\pm$ 2,72	2,95 $\pm$ 0,37	17,12 $\pm$ 3,22	17,98 $\pm$ 2,46	45,18 $\pm$ 5,35
ПХОБЛ I	81,14 $\pm$ 12,47	8,63 $\pm$ 0,81	24,77 $\pm$ 4,19	16,94 $\pm$ 2,07	69,17 $\pm$ 3,33
ПХОБЛ II	68,00 $\pm$ 3,50	12,40 $\pm$ 1,63	72,16 $\pm$ 7,58	18,60 $\pm$ 1,21	128,24 $\pm$ 8,89
ПХОБЛ II + АГ	58,00 $\pm$ 2,60	18,75 $\pm$ 1,13	92,15 $\pm$ 4,84	24,73 $\pm$ 2,34	168,28 $\pm$ 11,32
АГ	34,14 $\pm$ 5,33	3,56 $\pm$ 1,57	26,50 $\pm$ 1,68	18,00 $\pm$ 1,18	52,90 $\pm$ 3,75
p К-ПХОБЛ I	<0,001	<0,001	<0,001	0,261	<0,001
p К-ПХОБЛ II	<0,001	<0,001	<0,001	0,603	<0,001
p К-ПХОБЛ II + АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p К – АГ	<0,001	0,087	<0,001	1,000	<0,001
p ПХОБЛ I – ПХОБЛ II	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001
p ПХОБЛ I – ПХОБЛ II + АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p ПХОБЛ I – АГ	<0,001	<0,001	0,220	0,083	<0,001
p ПХОБЛ II – ПХОБЛ II + АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p ПХОБЛ II – АГ	<0,001	<0,001	<0,001	0,127	<0,001
p ПХОБЛ II + АГ – АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

При сравнении больных с первой степенью тяжести ПХОБЛ с группой контроля по цитокиновым показателям MCP-1, FGF2, VEGFA и TGF- β было обнаружено их достоверное увеличение ($p < 0,001$). У больных со второй степенью тяжести ПХОБЛ данные показатели также имеют достоверно более высокие значения по сравнению с контрольной группой ($p < 0,001$) и с группой больных с первой степенью тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$). Аналогично MCP-1, FGF2, VEGFA и TGF- β достоверно увеличены при сочетанном течении второй степени тяжести ПХОБЛ с АГ по сравнению с группой контроля ($p < 0,001$), с группой больных с первой степенью тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$), с группой больных со второй степенью тяжести ПХОБЛ ($p < 0,001$), а также с группой больных с изолированным течением АГ ($p < 0,001$). У лиц с АГ исследуемые показатели MCP-1, FGF2, VEGFA и TGF- β демонстрируют достоверно более высокие значения по сравнению с контрольной группой ($p < 0,001$) (табл. 4).

Обсуждение

Таким образом, клинико-функциональными особенностями течения профессиональной хронической обструктивной болезни легких в сочетании с артериальной гипертензией являются достоверно более низкие значения показателей спирометрии у пациентов с сочетанным течением второй степени тяжести ПХОБЛ с АГ относительно больных с изолированным течением ПХОБЛ.

Таблица 4

Сравнение групп с изолированным течением ПХОБЛ и ее сочетании с АГ по однофакторному дисперсионному анализу с межгрупповыми сравнениями по критерию Даннетта в виде среднего и стандартного отклонения ($M \pm SD$) по показателям цитокинового профиля

Группы сравнения	Моноцитарный хемотаксический протеин-1 (MCP-1) ($M \pm SD$)	Факторы роста фибробластов (FGF 2) ($M \pm SD$)	Фактор роста эндотелия сосудов А (VEGF A) ($M \pm SD$)	Трансформирующий фактор роста (TGF-b) ($M \pm SD$)
Контроль	132,15 $\pm$ 7,18	152,93 $\pm$ 12,02	146,13 $\pm$ 7,00	28,62 $\pm$ 4,19
ПХОБЛ I	286,57 $\pm$ 18,60	308,66 $\pm$ 10,78	342,17 $\pm$ 30,22	34,23 $\pm$ 2,73
ПХОБЛ II	408,72 $\pm$ 43,19	588,30 $\pm$ 25,43	762,18 $\pm$ 17,81	39,66 $\pm$ 2,84
ПХОБЛ II + АГ	618,35 $\pm$ 37,48	812,65 $\pm$ 8,31	842,15 $\pm$ 7,59	51,80 $\pm$ 2,72
АГ	184,12 $\pm$ 8,97	262,36 $\pm$ 18,76	586,14 $\pm$ 27,31	36,56 $\pm$ 2,75
p К-ПХОБЛ I	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p К-ПХОБЛ II	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p К-ПХОБЛ II + АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p К – АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p ПХОБЛ I – ПХОБЛ II	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p ПХОБЛ I – ПХОБЛ II + АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p ПХОБЛ I – АГ	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
p ПХОБЛ II – ПХОБЛ II + АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p ПХОБЛ II – АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p ПХОБЛ II + АГ – АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

На основании анализа показателей функции внешнего дыхания и цитокинового профиля ПХОБЛ в сочетании с АГ может рассматриваться как отдельный фенотип заболевания. Таким образом, характер изменений исследуемых показателей при ПХОБЛ в сочетании с АГ отличается от такового при изолированном течении каждого из заболеваний и способствует, с одной стороны, формированию выраженного сосудистого компонента ПХОБЛ: тяжелой легочной гипертензии, которая во многом определяет клинико-функциональные особенности заболевания, с другой – тяжелому и неблагоприятному течению АГ: формированию неблагоприятного профиля суточного ритма АД, раннему и тяжелому ремоделированию сердца и сосудов, высокой частоте сердечно-сосудистых событий [8, 9, 14, 15, 21–25].

Заключение

При оценке данных спирометрии при ПХОБЛ и ее сочетанном течении с АГ наиболее информативным и диагностически значимым является снижение таких показателей форсированного выдоха, как ФЖЕЛ, ОФВ1, ОФВ1/ФЖЕЛ и ПСВ, изменения которых позволяют диагностировать признаки необратимой бронхиальной обструкции и прогнозировать течение профессиональной хронической обструктивной болезни легких при ее изолированном течении в зависимости от степени тяжести заболевания, а также при ее сочетанном течении с артериальной гипертензией.

При диспансерном наблюдении за лицами, работающими в контакте с промышленными аэрозолями химической и фиброгенной природы, необходимо контролировать динамику показателей функции внешнего дыхания и импульсной осциллометрии не реже 1 раза в 6 месяцев. Это позволит улучшить диагностику обструктивных нарушений у работников в производствах потенциально опасных по формированию профессиональной хронической обструктивной болезни легких, оцениваемых по показателям ФЖЕЛ, ОФВ₁, ОФВ₁/ФЖЕЛ, ПСВ, МОС 25 %, МОС 50 %, МОС 75 %, R₅₀ (вязкостное дыхательное сопротивление), а также прогнозировать течение заболевания при его изолированном течении и при его коморбидном сочетанном течении с артериальной гипертензией.

Включить комплексное иммунологическое обследование с определением концентраций ИЛ-4, ИЛ-6, ИЛ-8, ИЛ-10, ИЛ-17, MCP-1, VEGF, FGF 2, TGF- β в сыворотке крови в программу углубленных периодических медицинских осмотров лиц, работающих в контакте с промышленными аэрозолями химической и фиброгенной природы, потенциально опасными по формированию профессиональной хронической обструктивной болезни легких, и в программу оказания медицинской помощи больным ПХОБЛ при ее изолированном и сочетанном течении с АГ в пульмонологических центрах и центрах профпатологии федерального и регионального уровней.

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Хроническая обструктивная болезнь легких: Федеральные клинические рекомендации / утв. Ассоциацией врачей и специалистов медицины труда. М., 2024. 120 с.
2. Бейгель Е.А., Катаманова Е.В., Шаяхметов С.Ф. и др. Влияние длительного воздействия промышленных аэрозолей на функциональное состояние бронхолегочной системы у работников алюминиевого производства. Гигиена и санитария. 2016; 95(12): 1160–1163. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-12-1160-1163.
3. Бухтияров И.В. Профессиональная патология: национальное руководство / 2-е издание, перераб. и доп. М.: Гэотар-медиа, 2024. С. 904.
4. Васильева О.С., Кравченко Н.Ю. Хроническая обструктивная болезнь легких как профессиональное заболевание: факторы риска и проблема медико-социальной реабилитации больных // Российский медицинский журнал. 2015. № 21 (5): 22–6.
5. Шпагина Л.А., Котова О.С., Сараскина Л.Е. и др. Особенности клеточно-молекулярных механизмов профессиональной хронической обструктивной болезни легких // Сибирское медицинское обозрение. 2018. № 2: 37–45. DOI: 10.20333/2500136–2018–2–37–45.
6. Шпагина Л.А., Котова О.С., Шпагин И.С. и др. Профессиональная хроническая обструктивная болезнь легких: фенотипические характеристики // Медицина труда и промышленная экология. 2017. № 3: 47–53.
7. Шпагин И.С., Котова О.С., Камнева Н.В. и др. Профессиональная хроническая обструктивная болезнь легких в сочетании с сердечной недостаточностью – клинико-функциональные особенности // Медицина труда и промышленная экология. 2019. № 59 (7): 388–394. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-7-388-394.
8. Косарев В.В., Жестков А.В., Бабанов С.А. и др. Иммунопатогенетические особенности профессионального бронхита // Медицина труда и промышленная экология. 2012. № 9: 22–27.
9. Бабанов С.А. Функциональные особенности внешнего дыхания и сердечно-сосудистой системы при воздействии фиброгенных аэрозолей // Медицина труда и промышленная экология. 2007. № 7: 6–14.
10. Стрижаков Л.А., Бабанов С.А., Будащ Д.С. и др. Иммунологические особенности и прогнозирование при современных формах профессиональных заболеваний легких // Медицина труда и промышленная экология. 2020. № 60 (2): 81–88. DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-2-81-88.

11. Стрижаков Л.А., Бабанов С.А., Лебедева М.В. и др. Артериальная гипертензия на рабочем месте: факторы риска и популяционное значение // Терапевтический архив. 2018. № 90 (9): 138–143.
12. Стрижаков Л.А., Бабанов С.А., Борисова Д.К. и др. Профессиональные и производственно-обусловленные поражения сердечно-сосудистой системы: проблемы каузации // Врач. 2020. № 31 (12): 5–11. DOI: 10.29296/25877305-2020-12-01.
13. Лашина Е.Л. Результаты мониторинга ранних признаков профессиональной хронической обструктивной болезни легких с применением системы поддержки принятия решений врача-профпатолога // Медицина труда и промышленная экология. 2019. № 59 (9): 675–676. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-9-675-676.
14. Бабанов С.А., Будащ Д.С. Состояние гуморального иммунитета при хроническом пылевом бронхите и пневмокониозах от воздействия различных видов фиброгенной пыли // Изв. вузов. Поволжский регион. Медицинские науки. 2016. № 3 (39): 23–34. DOI: 10.21685/2072-3032-2016-3-3.
15. Федотов В.Д., Шония М.Л., Белоусько Н.И. Клинико-прогностические аспекты взаимоотношений хронической обструктивной болезни легких профессиональной этиологии и хронического необструктивного бронхита // Медицина труда и промышленная экология. 2020. № 60 (1): 53–58. DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-1-53-58.
16. Аникина Е.В., Цыганкова А.Р. Клеточные маркеры хронической обструктивной болезни легких от воздействия аэрозолей, содержащих наночастицы // Медицина труда и промышленная экология. 2020. № 60 (11): 723–726. DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-11-723-726.
17. Ерихова С., Паначева Л. Хроническая обструктивная болезнь легких в сочетании с артериальной гипертензией в условиях экспозиции к промышленным аэрозолям // Врач. 2018. № 29 (2): 35–38. DOI: 10.29296/25877305-2018-02-09.
18. Николенко О.Ю., Ластков Д.О. Нарушения гуморального звена аутоиммунитета при хронической обструктивной болезни легких у горнорабочих угольных шахт // Здоровье человека, теория и методика физической культуры и спорта. 2020. № 1 (17): 66–73. DOI: 10.14258/zosh(2020)1.8.
19. Газизов О.М. Современные проблемы развития патологии верхнего отдела респираторного тракта у горнорабочих // Вестник КазНМУ. 2014. № 3 (2): 21–23.
20. Крючкова Е.Н., Сааркоппель Л.М., Яцына И.В. Особенности иммунного ответа при хроническом воздействии промышленных аэрозолей // Гигиена и санитария. 2016. № 95 (11): 1058–1061. DOI: 10.1882/0016-9900-2016-95-11-1058-1061.
21. Еловская Л.Т., Прокопенко Л.В. Гармонизация отечественного и зарубежного санитарного законодательства по проблеме промышленных аэрозолей // Медицина труда и пром. экология. 2014. № 2: 1–5.
22. Distribution and outcomes of a phenotype-based approach to guide COPD management: results from the CHAIN cohort [Electronic resource] / B.G. Cosio et al. // PLoS One. 2016. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27684372> (дата обращения: 23.05.2025).
23. Miravittle M. Frequency and characteristics of different clinical phenotypes of chronic obstructive pulmonary disease / M. Miravittle, M. Barrecheguren, M. Román-Rodríguez // Int. J. Tuberc. Lung. Dis. 2015. Vol. 19. № 8. P. 992–998.
24. Шпагин И.С., Котова О.С., Поспелова Т.И., Герасименко О.Н., Шпагина Л.А., Ермакова М.А. Хроническая обструктивная болезнь легких в сочетании с эссенциальной артериальной гипертензией: клинико-функциональные и молекулярно-генетические особенности // Вестник современной клинической медицины. 2016. Т. 9. № 4. С. 56–65.
25. Шпагина Л.А., Котова О.С. Обострения профессиональной ХОБЛ // Медицина труда и промышленная экология. 2017. № 9. С. 222–223.
26. Вострокнутова М.Ю. Исследование неспровоцированных дыхательных объемов и потоков при профессиональной хронической обструктивной болезни легких и ее сочетании с артериальной гипертензией // Инноватика и экспертиза. 2025. Вып. 1 (39).

References

1. *Khronicheskaya obstruktivnaya bolezni' legkikh: Federal'nye klinicheskie rekomendatsii* [Chronic obstructive pulmonary disease: Federal Clinical guidelines] *Utv. Assotsiatsiy vrachey i spetsialistov meditsiny truda* [Association of Doctors and Specialists in Occupational Medicine]. Moscow. 2024. 120 p.
2. Beigel E.A., Katamanova E.V., Shayakhmetov S.F. et al. (2016) *Vliyanie dlitel'nogo vozdeystviya promyshlennyykh aerorozley na funktsional'noe sostoyanie bronkholegochnoy sistemy u rabotnikov alyuminievogo proizvodstva* [Influence of long-term exposure to industrial aerosols on the functional state of the bronchopulmonary system in aluminum production workers] *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and sanitation]. 95(12). P. 1160–1163. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-12-1160-1163.
3. Bukhtiyarov I.V. (2024) *Professional'naya patologiya: natsional'noe rukovodstvo* [Professional pathology: national guidelines] 2-e izdanie, pererab. i dop. Geotar-media [Second edition, revised and supplemented. Geotar-media]. Moscow. P. 904.
4. Vasilyeva O.S., Kravchenko N.Yu. (2015) *Khronicheskaya obstruktivnaya bolezni' legkikh kak professional'noe zabolevanie: faktory riska i problema mediko-sotsial'noy rehabilitatsii bol'nykh* [Chronic obstructive pulmonary disease as an occupational disease: risk factors and the problem of medical and social rehabilitation of patients] *Rossiyskiy meditsinskiy zhurnal* [Russian Medical Journal]. No. 21 (5). P. 22–6.
5. Shpagina L.A., Kotova O.S., Saraskina L.E. et al. (2018) *Osobennosti kletочно-molekulyarnyykh mekhanizmov professional'noy khronicheskoy obstruktivnoy bolezni legkikh* [Features of cellular and molecular mechanisms of occupational chronic obstructive pulmonary disease] *Sibirskoe meditsinskoe obozrenie* [Siberian Medical Review]. No. 2. P 37–45. DOI: 10.20333/2500136–2018–2–37–45.
6. Shpagina L.A., Kotova O.S., Shpagin I.S. et al. (2017) *Professional'naya khronicheskaya obstruktivnaya bolezni' legkikh: fenotipicheskie kharakteristiki* [Occupational chronic obstructive pulmonary disease: phenotypic characteristics] *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya* [Occupational medicine and industrial ecology]. No. 3 P. 47–53.
7. Shpagin I.S., Kotova O.S., Kamneva N.V. et al. (2019) *Professional'naya khronicheskaya obstruktivnaya bolezni' legkikh v sochetanii s serdechnoy nedostatochnost'yu – kliniko-funktsional'nye osobennosti* [Occupational chronic obstructive pulmonary disease in combination with heart failure-clinical and functional features] *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya* [Occupational medicine and industrial ecology]. No. 59 (7). P. 388–394. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-7-388-394.
8. Kosarev V.V., Zhestkov A.V., Babanov S.A. et al. (2012) *Immunopatogeneticheskie osobennosti professional'nogo bronkhita* [Immunopathogenetic features of occupational bronchitis] *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya* [Occupational medicine and industrial ecology]. No. 9. P. 22–27.
9. Babanov S.A. (2007) *Funktsional'nye osobennosti vneshnego dykhaniya i serdechno-sosudistoy sistemy pri vozdeystvii fibrogennykh aerorozley* [Functional features of external respiration and cardiovascular system under the influence of fibrogenic aerosols] *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya* [Occupational medicine and industrial ecology]. No. 7 P. 6–14.
10. Strizhakov L.A., Babanov S.A., Budash D.S. et al. (2020) *Immunologicheskie osobennosti i prognozirovaniye pri sovremennykh formakh professional'nykh zabolevaniy legkikh* [Immunological features and forecasting in modern forms of occupational lung diseases] *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya* [Occupational medicine and industrial ecology]. No. 60 (2) P. 81–88. DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-2-81-88.
11. Strizhakov L.A., Babanov S.A., Lebedeva M.V. et al. (2018) *Arterial'naya gipertenziya na rabochemeste: faktory riska i populyatsionnoye znachenie* [Arterial hypertension in the workplace: risk factors and population significance] *Terapevticheskiy arkhiv* [Therapeutic Archive]. No. 90 (9). P. 138–143.
12. Strizhakov L.A., Babanov S.A., Borisova D.K. et al. (2020) *Professional'nye i proizvodstvenno-obuslovlennyye porazheniya serdechno-sosudistoy sistemy: problemy kauzatsii* [Occupational and industrial-related lesions of the cardiovascular system: problems of causation] *Vrach* [Doctor]. No. 31 (12). P. 5–11. DOI: 10.29296/25877305-2020-12-01.
13. Lashina E.L. (2019) *Rezultaty monitoringa rannikh priznakov professional'noy khronicheskoy obstruktivnoy bolezni legkikh s primeneniem sistemy podderzhki prinyatiya resheniy vracha-profpatologa* [Results of monitoring of early signs of occupational chronic obstructive pulmonary disease using the decision support

system of a professional pathologist] *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya* [Occupational medicine and industrial ecology]. No. 59 (9). P. 675–676. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-9-675-676.

14. Babanov S.A., Budash D.S. (2016) *Sostoyanie gumoral'nogo immuniteta pri khronicheskom pylevom bronkhite i pnevmokoniozakh ot vozdeystviya razlichnykh vidov fibrogennoy pyli* [The state of humoral immunity in chronic dusty bronchitis and pneumoconiosis from exposure to various types of fibrogenic dust] *Povolzhskiy region. Meditsinskie nauki* [Volga region. Medical sciences]. No. 3 (39). P. 23–34. DOI: 10.21685/2072-3032-2016-3-3.

15. Fedotov V.D., Shonia M.L., Belousko N.I. (2020) *Kliniko-prognosticheskie aspekty vzaimootnosheniy khronicheskoy obstruktivnoy bolezni legkikh professional'noy etiologii i khronicheskogo neobstruktivnogo bronkhita* [Clinical and prognostic aspects of the relationship between chronic obstructive pulmonary disease of occupational etiology and chronic non-obstructive bronchitis] *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya* [Occupational medicine and industrial ecology]. No. 60 (1). P. 53–58. DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-1-53-58.

16. Anikina E.V., Tsygankova A.R. (2020) *Kletochnye markery khronicheskoy obstruktivnoy bolezni legkikh ot vozdeystviya aerorozley, soderzhashchikh nanochastitsy* [Cellular markers of chronic obstructive pulmonary disease from exposure to aerosols containing nanoparticles] *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya* [Occupational medicine and industrial ecology]. No. 60 (11). P. 723–726. DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-11-723-726.

17. Erikhova S., Panacheva L. (2018) *Khronicheskaya obstruktivnaya bolezni' legkikh v sochetanii s arterial'noy gipertenziey v usloviyakh ekspozitsii k promyshlennym aerorozlyam* [Chronic obstructive pulmonary disease in combination with arterial hypertension in conditions of exposure to industrial aerosols] *Vrach* [Doctor]. No. 29 (2). P. 35–38. DOI: 10.29296/25877305-2018-02-09.

18. Nikolenko O.Yu., Lastkov D.O. (2020) *Narusheniya gumoral'nogo zvena autoimmuniteta pri khronicheskoy obstruktivnoy bolezni legkikh u gornorabochikh ugol'nykh shakht* [Violations of the humoral link of autoimmunity in chronic obstructive pulmonary disease in coal mine miners] *Zdorov'e cheloveka, teoriya i metodika fizicheskoy kul'tury i sporta* [Human health, theory and methodology of physical culture and sports]. No. 1 (17). P. 66–73. DOI: 10.14258/zosh(2020)1.8.

19. Gazizov O.M. (2014) *Sovremennyye problemy razvitiya patologii verkhnego otdela respiratornogo trakta u gornorabochikh* [Modern problems of development of pathology of the upper respiratory tract in miners] *Vestnik KazNMU* [Herald KazNMU]. No. 3 (2). P. 21–23.

20. Kryuchkova E.N., Saarcoppel L.M., Yatsyna I.V. (2016) *Osobennosti immunnogo otveta pri khronicheskoy vozdeystvii promyshlennykh aerorozley* [Features of the immune response under chronic exposure to industrial aerosols] *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and sanitation]. No. 95 (11). P. 1058–1061. DOI: 10.1882/0016-9900-2016-95-11-1058-1061.

21. Elovskaya L.T., Prokopenko L.V. (2014) *Garmonizatsiya otechestvennogo i zarubezhnogo sanitarnogo zakonodatel'stva po probleme promyshlennykh aerorozley* [Harmonization of domestic and foreign sanitary legislation on the problem of industrial aerosols] *Meditsina truda i prom. Ekologiya* [Occupational medicine and Industry. Ecology]. No. 2: 1–5.

22. Distribution and outcomes of a phenotype-based approach to guide COPD management: results from the CHAIN cohort. B.G. Cosio et al. *PLoS One*. 2016. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27684372> (date of access: 23.05.2025).

23. Miravittle M. (2015) Frequency and characteristics of different clinical phenotypes of chronic obstructive pulmonary disease. M. Miravittle, M. Barrecheguren, M. Román-Rodríguez. *Int. J. Tuberc. Lung. Dis.* 2015. Vol. 19. No. 8. P. 992–998.

24. Shpagin I.S., Kotova O.S., Pospelova T.I., Gerasimenko O.N., Shpagina L.A., Ermakova M.A. (2016) *Khronicheskaya obstruktivnaya bolezni' legkikh v sochetanii s essentsial'noy arterial'noy gipertenziey: kliniko-funktsional'nye i molekulyarno-geneticheskie osobennosti* [Chronic obstructive pulmonary disease in combination with essential arterial hypertension: clinical-functional and molecular-genetic features] *Vestnik sovremennoy klinicheskoy meditsiny* [Bulletin of Modern Clinical Medicine]. Vol. 9. No. 4. P. 56–65.

25. Shpagina L.A., Kotova O.S. (2017) *Obostreniya professional'noy KhOBL* [Exacerbations of occupational COPD] *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya* [Occupational medicine and industrial ecology]. No. 9. P. 222–223.

26. Vostroknutova M.Y. (2025) *Issledovanie nesprovotsirovannykh dykhatel'nykh ob"emov i potokov pri professional'noy khronicheskoy obstruktivnoy bolezni legkikh i ee sochetanii s arterial'noy gipertenziey* [Investigation of unprovoked respiratory volumes and flows in occupational chronic obstructive pulmonary disease and its combination with arterial hypertension] *Innovatika i ekspertiza* [Innovation and Expert Examination]. 2025. Issue 1 (39).

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

РАДИОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОР НЕЙТРОНОВ ДЛЯ ВЫСОКОПОТОЧНЫХ ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК

С.Г. Лебедев, ст. научн. сотр. ФГБУН Институт ядерных исследований РАН, канд. физ.-мат. наук, lebedev@inr.ru

Рецензент: М.Ю. Егоров, ФГБОУ ВО Национальный исследовательский университет «МЭИ», egorov12m2u@mail.ru

Проточный газовый радиохимический метод предлагается использовать для мониторинга нейтронного потока в высокопоточных ядерных реакторах, таких как ПИК Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». Особенность технологии состоит в пространственном разделении детектирования нейтронов и их регистрации посредством транспортировки образовавшегося радиоактивного газа — продукта ядерной реакции — из активной зоны с помощью транспортного газа He (гелий) в оборудованный защитой удаленный счетчик распадов. В такой постановке технология позволяет кардинально снизить фоновую загрузку от γ -квантов и других конкурирующих процессов. Для регистрации рекордной плотности нейтронного потока реактора ПИК до $5 \cdot 10^{15}$ нейтрон $\cdot$ см $^{-2}$ $\cdot$ с $^{-1}$ достаточно очень небольшого количества активного вещества в детектирующей ампуле. Фактически речь может идти о точечноподобной детектирующей ампуле, что весьма удобно для ее размещения в узком технологическом канале ядерного реактора ПИК. Малое количество активного вещества в ампуле детектора, кроме того, позволит снизить счет распадов и нагрузку на систему обработки информации.

Ключевые слова: нейтроны, ядерные реакции, радиохимический монитор, ПИК.

RADIOCHEMICAL NEUTRON MONITOR FOR HIGH FLUX NUCLEAR FACILITIES

S.G. Lebedev, Senior Researcher, Institute for Nuclear Research of Russian Academy of Sciences, Doctor of Physics and Mathematics, lebedev@inr.ru

The flow-through gas radiochemical method is proposed to be used for monitoring the neutron flux in high-current nuclear reactors, such as the PIK of the Petersburg Nuclear Physics Institute named by B.P. Konstantinov of National Research Centre «Kurchatov Institute». A special feature of the technology is the spatial separation of neutron detection and their registration by transporting the formed radioactive gas — the product of a nuclear reaction — from the core using helium transport gas to the decay counter. In this setting, the technology makes it possible to drastically reduce the background load from gamma quanta and other competing processes. A very small quantity of the active substance in the detection ampoule is sufficient to register the record density of the neutron flux of the PIK reactor up to $5 \cdot 10^{15}$ neutrons $\cdot$ cm $^{-2}$ $\cdot$ s $^{-1}$. In fact, we can talk about a point-like detecting ampoule, which is very convenient for its placement in a narrow technological channel of the PIK nuclear reactor. A small quantity of the active substance in the ampoule of the detector, in addition, will reduce the decay rate and the load on the information processing system.

Keywords: neutrons, nuclear reactions, radiochemical monitor, PIK.

Введение

Введение в эксплуатацию высокопоточного ядерного реактора ПИК на территории ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» с максимальной тепловой мощностью 100 МВт и максимальной плотностью потока нейтронов до $5 \cdot 10^{15}$ нейтрон $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$ [1], а также международного термоядерного реактора ИТЭР с плотностью потока нейтронов до $1,5 \cdot 10^{14}$ нейтрон $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$ [2] потребует применения радиационно-стойких, компактных, простых по своему устройству и функционированию детекторов нейтронного потока. Хотя в настоящее время имеются периферийные нейтронные детекторы, в основном на основе ионизационных камер и позиционно-чувствительных детекторов [3], все же отсутствуют мониторы нейтронного потока в центре активной зоны (АЗ). Проблемы их размещения связаны с чрезвычайно высокими нейтронными потоками, перегружающими систему сбора и обработки информации (readout electronics), с фоновой загрузкой от γ -квантов, а также высоких температур в окрестности АЗ. Решением указанной проблемы может оказаться размещение в центре АЗ высокопоточных ядерных реакторов, таких как ПИК (Россия) [4], HFR (Франция) [5], HFIR (США) [6], FRM (Германия) [7], а также вблизи активной зоны международного термоядерного реактора ИТЭР [8] проточных газовых радиохимических мониторов нейтронного потока [9–13].

Проточный газовый радиохимический монитор нейтронов

В проточном газовом радиохимическом мониторе используется свойство свободного выхода атомов инертного радиоактивного газа ^{37}Ag , образующихся в ядерной реакции $^{40}\text{Ca}(n,\alpha)^{37}\text{Ag}$, из кристаллической решетки оксалата кальция CaC_2O_4 . Образующийся в ампуле детектора инертный радиоактивный газ ^{37}Ag транспортируется газом-носителем He (гелием) в удаленный пропорциональный газовый счетчик проточного типа, где производится измерение скорости распадов ядер радиоактивного инертного газа, однозначно связанной с плотностью потока нейтронов в активной зоне. Преимуществами предлагаемого нейтронного монитора являются небольшое количество активного вещества CaC_2O_4 и малые размеры детектора, необходимые для регистрации высоких нейтронных потоков в центре активной зоны, а также относительно высокая температура разложения CaC_2O_4 , составляющая около 350°C . Удаленное расположение и экранирование счетчика распадов позволяет избавиться от фона γ -квантов. Схема газового тракта радиохимического нейтронного монитора представлена на рис. 1 [14]. Отличие от схем газового тракта, использованных в работах [9–13], состоит в конструкции микроампулы 3, наполненной порошковым оксалатом кальция 2, а также в применении азотной ловушки 20 на выходе газовой смеси из счетчика в атмосферу для очистки транспортного газа от радиоактивных примесей аргона. Конструкция микроампулы (рис. 2) выбрана так, чтобы она свободно входила в обслуживаемый канал ядерного реактора. В случае реактора ПИК это центральный экспериментальный канал с нейтронной ловушкой диаметром ~ 80 мм [15].

Пунктирной линией на рис. 1 показана возможность возврата отработанного He, очищенного от примесей радиоактивного газа и гасящей добавки, обратно в газовый тракт. Такая опция необходима при высоком потоке газа и длительной работе монитора из-за дороговизны транспортного газа He.

Мониторирование нейтронного потока на нейтронной мишени РАДЭКС

Пример использования описанной методики для мониторинга нейтронного потока на нейтронной мишени РАДЭКС [16] приведен на рис. 3.

Применение нейтронного монитора в центре активной зоны является весьма полезным с точки зрения получения информации о временном поведении источника нейтронов, а также о степени выгорания ТВЭЛ. Кроме того, показания нейтронного монитора в центре

АЗ позволят контролировать и сравнить с соответствующими показаниями данные других нейтронных детекторов, находящихся в экспериментальных каналах.

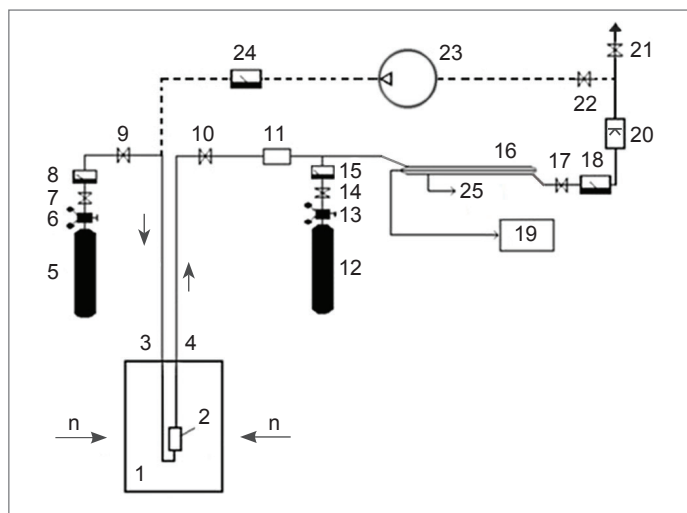


Рис. 1. Схема газового тракта проточного радиохимического монитора нейтронов

Обозначения на схеме: 1 – канал реактора; 2 – микроампула детектора; 3 – трубка входного потока He; 4 – трубка выходного потока смеси He с радиоактивным аргоном; 5, 12 – баллоны He и гасящей добавки CH_4 соответственно; 6, 13 – регуляторы давления; 7, 9, 10, 14, 17, 21, 22 – регуляторы расхода газа; 8, 15, 18, 24 – расходомеры; 11 – геттер ($T = 700^\circ\text{C}$, медная стружка); 16 – пропорциональный счетчик; 19 – система регистрации и обработки сигналов; 20 – азотная ловушка; 23 – насос-компрессор, 25 – высокое напряжение

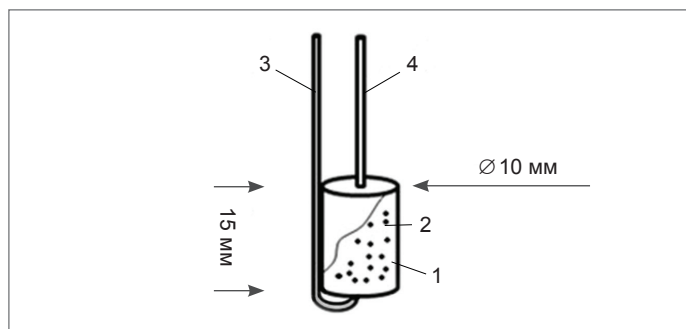


Рис. 2. Ампула детектора нейтронного монитора АЗ

Обозначения на схеме: 1 – корпус ампулы; 2 – порошок оксалата кальция; 3 – трубка подвода транспортного газа He; 4 – трубка выходного потока смеси He с радиоактивным аргоном

Применение проточного газового радиохимического метода на реакторе ПИК

Чтобы оценить преимущества радиохимического нейтронного монитора в АЗ, необходимо определить скорость счета распадов пропорционального счетчика 16 на рис. 1.

В стационарном режиме облучения ампулы (при постоянном потоке ионизирующего излучения Φ и постоянном расходе L_{He} газа-носителя) вся вновь образовавшаяся активность сверх равновесной удаляется из объема ампулы потоком газа-носителя. Поэтому ско-

рость счета распадов в смеси радиоактивного газа с газом-носителем связана с потоком ионизирующего излучения известным [9] соотношением:

$$I = \frac{\rho_n V_a P_c N_A \lambda_{37} \sigma_{(n,\alpha)} \Phi V_c}{M_{CaC_2O_4} L_{He}}. \quad (1)$$

В выражении (1) использованы следующие обозначения: I – количество распадов в секунду радиоактивного инертного газа в счетчике; $\rho_n = 1 \text{ г/см}^3$ – плотность насыпного порошка оксалата кальция в ампуле; V_a , V_c – рабочий объем в см^3 ампулы и счетчика соответственно; P_c – давление в счетчике в физических атмосферах; N_A – число Авогадро; $\lambda_{37} = 3 \times 10^6 \text{ с}$ – постоянная распада инертного радиоактивного ^{37}Ar ; $\sigma_{(n,\alpha)} = 2.0 \cdot 10^{-26} \text{ см}^2$ – усредненное по нейтронному спектру сечение ядерной реакции $^{40}\text{Ca}(n,\alpha)^{37}\text{Ar}$ образования радиоактивного инертного газа ^{37}Ar ; Φ – нейтронный поток (нейтрон/ $\text{см}^2/\text{с}$), $M_{CaC_2O_4} = 128$ – молекулярная масса оксалата кальция; L_{He} – расход транспортного газа He, $\text{см}^3/\text{с}$. Выражение (1) применимо при $V_a/L_{He} \ll 1/\lambda_{37}$. Вычисления с помощью соотношения (1) показывают, что с помощью радиохимического монитора нейтронного пучка в центре АЗ можно контролировать нейтронный поток, используя микроампулу с оксалатом кальция буквально точечных размеров. Данные по скорости счета микроампулы в зависимости от объема микроампулы V_a и расхода транспортного газа L_{He} для потока быстрых нейтронов $\Phi = 1.25 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ с энергией $E > 0,8 \text{ МэВ}$ в центре АЗ реактора ПИК представлены на рис. 4.

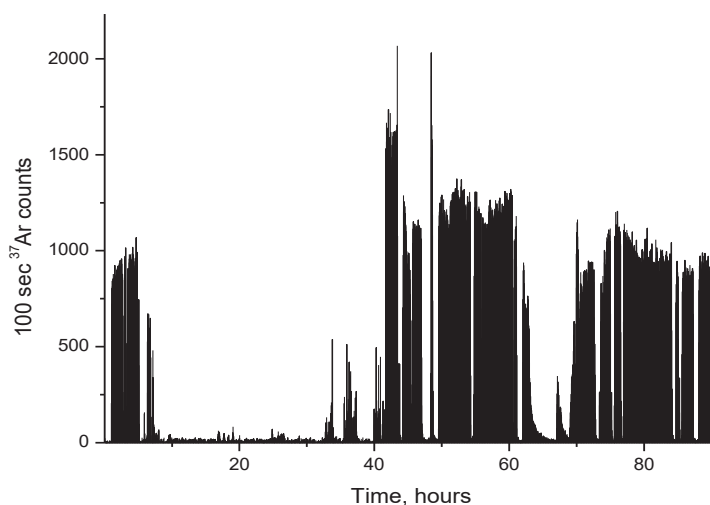


Рис. 3. Иллюстрация мониторинга нейтронного потока с помощью проточного газового радиохимического детектора на установке РАДЭКС ИЯИ РАН [15].

Темные области соответствуют наличию нейтронного потока, светлые – его отсутствию

Как можно видеть, значения скорости счета распадов радиоактивного аргона существенно ниже достигнутого в настоящее время максимального уровня в 125 кГц. При увеличении расхода транспортного газа L и уменьшении объема ампулы детектора V_a скорость счета распадов уменьшается. Данные обстоятельства являются благоприятными для регистрации

рекордных нейтронных потоков в центрах АЗ высокопоточных ядерных реакторов, причем эти потоки могут быть зарегистрированы чрезвычайно малыми, буквально точечными детектирующими ампулами. Например, при диаметре ампулы детектора и ее высоте в 1 см объем ампулы составит $\pi/4 \text{ см}^3$, при этом ее легко можно будет перемещать в экспериментальном канале высокопоточного ядерного реактора. Тогда, как видно из рис. 4 и соотношения (1), при расходе транспортного газа $L = 1 \text{ см}^3/\text{с}$ скорость счета распадов составит 27 кГц. Длина газового тракта представляет собой расстояние от места расположения ампулы нейтронного детектора в АЗ до места расположения проточного счетчика распадов. При этом время задержки сигнала из-за движения по газовому тракту длиной $L_T = 1000 \text{ см}$ по трубкам внутренним диаметром $d = 0,1 \text{ см}$ составит $\tau \sim \pi d^2 L_T / L_{\text{He}} = 2,5 \text{ пс}$. С увеличением расхода транспортного газа уменьшается время задержки. Уменьшение габаритов ампулы детектора ограничивается только возможностью механического крепления подводящих труб. В качестве материала ампулы и трубок газового тракта предполагается использовать нержавеющую сталь или алюминиевый сплав, который менее подвержен активации.

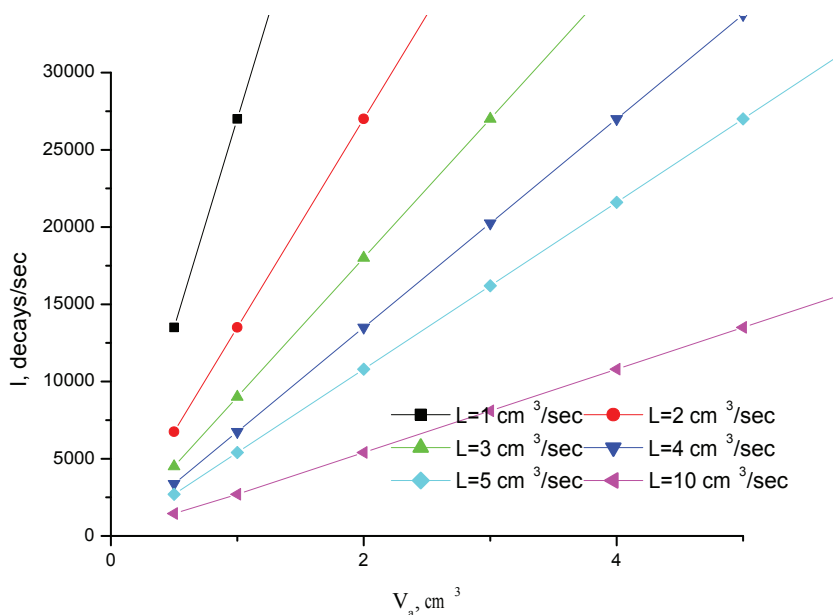


Рис. 4. Семейство зависимостей скорости счета распадов I от объема ампулы детектора V_a для различных значений расхода транспортного газа L

Как минимум один фактор определяет ресурс детектора — выгорание CaC_2O_4 . Рассмотрим его более подробно: выгорание CaC_2O_4 за счет ядерной реакции. Произведем оценку флюэнса до выгорания. Зафиксируем долю выгоревшего активного вещества $\phi = 10\%$, тогда $\phi = \Phi \sigma t = 2 \cdot 10^{-26} \Phi t$. Тогда получаем, что значение флюэнса $\Phi t = 0,5 \cdot 10^{25} \text{ н/см}^2$. Это соответствует времени облучения $t \sim 10^9 \text{ с}$, или 27 годам.

Обсуждение

Радиохимический газовый нейтронный монитор представляет собой принципиально новый нейтронный детектор с простой конструкцией, не содержащей механических элементов. Детектирующая ампула заполнена порошкообразным активным веществом — оксалатом кальция CaC_2O_4 — с высокой температурой разложения (около 350°C). Образовавшийся в результате (n, α) -ядерной реакции инертный радиоактивный газ ^{37}Ar легко выходит из

кристаллической структуры оксалата кальция и не взаимодействует с элементами газового тракта. Счетчик распада расположен удаленно за биологической защитой и соединен с ампулой детектора газовым трактом. Это решение позволяет значительно снизить фоновую загрузку счетчика. Фоновые процессы снижаются также за счет использования специфической ядерной реакции $^{40}\text{Ca}(n,\alpha)^{37}\text{Ag}$ по принципу «ключ – замок». Так, в активной зоне ядерного реактора находятся металлические (алюминиевые или нержавеющей) ампулы и трубки газового тракта, порошок оксалата кальция, а также транспортный инертный газ гелий. Относительно высокая скорость распадов ^{37}Ag позволяет резко уменьшить размер детектирующей ампулы до $\pi\text{ см}^3$ и поместить ее свободно, например, в центральном экспериментальном канале реактора ПИК диаметром $\sim 80\text{ мм}$. В этом случае возможно измерение нейтронного потока в нескольких точках по диаметру канала (около 8 точек), а также по всему каналу по его высоте. Пространственное разрешение детектора составляет около 1 см, чего нет у других типов детекторов. Например, минимальные размеры камеры деления составляют 5 см в диаметре и 30 см в длину [17]. Размещение камер деления в канале высокопоточного реактора проблематично из-за высокого фона, нестабильности электрических контактов, а также из-за слишком большого сечения взаимодействия нейтронов с делящимся веществом (тысячи барн) и высокой скорости распада, когда происходит наложение спонтанных альфа-распадов. Использование камер деления с очень небольшим количеством делящегося материала дает очень низкий ток в условиях высокого фона. Сечение взаимодействия ^{40}Ca с нейтронами составляет около 0,2 барн, что позволяет в широких пределах управлять размерами и чувствительностью детектора. Детектор имеет свои недостатки, такие как временная задержка из-за движения транспортного газа по газовому тракту. Данный монитор нельзя использовать для оперативного контроля ядерного реактора, однако он позволяет получить информацию о таких процессах в центре активной зоны, как распределение плотности потока нейтронов по радиусу и длине нейтронного канала, выгорание топлива в центральных ТВЭЛ. Поскольку реакторы ПИК, ГФР, ВФИР и ФРМ – водоохлаждаемые с кипением, температура в центральной зоне не превышает 200°C , а температура в рабочей камере ИТЭР составляет $150\text{--}200^\circ\text{C}$ [18], CaC_2O_4 порошок можно использовать без деградации.

Заключение

Радиохимический газовый нейтронный монитор представляет собой принципиально новый нейтронный детектор с простой конструкцией, не содержащей механических элементов. Детектирующая ампула заполнена порошкообразным активным веществом оксалатом кальция CaC_2O_4 с высокой температурой разложения – около 350°C . Образовавшийся в результате (n,α) -ядерной реакции инертный радиоактивный газ ^{37}Ag легко выходит из кристаллической структуры оксалата кальция и, в силу инертности ^{37}Ag , не взаимодействует с элементами газового тракта.

Счетчик распада расположен удаленно за биологической защитой и соединен с ампулой детектора газовым трактом. Это решение позволяет значительно снизить фоновую загрузку счетчика.

Пространственное разрешение детектора составляет около 1 см, чего нет у других типов детекторов.

Детектор имеет свои недостатки, такие как временная задержка из-за движения транспортного газа по газовому тракту, поэтому рассматриваемый монитор нельзя использовать для оперативного контроля ядерного реактора; однако он позволяет получить информацию о таких процессах в центре активной зоны, как распределение плотности потока нейтронов по радиусу и длине нейтронного канала, выгорание топлива в центральных ТВЭЛ.

Список литературы

1. Ковальчук М.В., Смольский С.Л., Коноплев К.А. Исследовательский реактор ПИК // Кристаллография. 2021. № 66 (2). С. 184–190.
2. Claessens M. (2020). ITER: the giant fusion reactor. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
3. Krivshich A., Ilyin D., Hall-Wilton R. Strategy of Equipping the PIK Reactor Experimental Stations with Detection Systems // IAEA TECDOC SERIES, 2020, 251.
4. Ковальчук М.В., Воронин В.В., Григорьев С.В., Серебров А.П. Приборная база реактора ПИК // Кристаллография. 2021. № 66 (2). С. 191–213.
5. High-flux Reactor at Petten // Nature 1961, 192, 708.
6. Rush J.J. US Neutron Facility Development in the Last Half-Century: A Cautionary Tale. Phys // Perspect, 2015, 17, 135–155.
7. Axmann A., Böning K., Rottmann M. FRM-II: The new German research reactor // Nuclear engineering and design, 1997, 178 (1), 127–133.
8. Hassanein A., Sizyuk V. Potential design problems for ITER fusion device // Scientific Reports, 2021, 11 (1), 1–11.
9. Abdurashitov D.N., Koptelov E.A., Lebedev S.G., Yants V.E. A gaseous radiochemical neutron monitor // Instruments and Experimental Techniques, 2004, 47 (3), 294–299.
10. Lebedev S.G., Akulinichev S.V., Iljinov A.S., Yants V.E. A gaseous radiochemical method for registration of ionizing radiation and its possible applications in science and economy // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2006, 561(1), 90–99.
11. Lebedev S.G., Yants V.E. Radiochemical detector of spatial distribution of neutron flux density in nuclear reactor. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2019, 916, 83–86.
12. Lebedev S.G., Yants V.E. State-of-the-art progress of gaseous radiochemical method for detecting of ionizing radiation // Nuclear Engineering and Technology, 2021, 53 (7), 2075–2083.
13. Lebedev S.G., Yants V.E. High-speed gas neutron detector for thermometry of thermonuclear plasma // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2019, 945, 162633.
14. Лебедев С.Г. (2025). Патент РФ № 2834904 «Способ мониторингования нейтронного потока в высокопоточных ядерных установках».
15. Петров Ю.В., Ерыкалов А.Н., Котова Л.М., Онегин М.С., Сахновский Э.Г. (2003) Реактор ПИК-2 с пониженным расходом высокообогащенного урана. Атомная энергия, 95(4), 261–270.
16. Koptelov E.A., Lebedev S.G., Sobolevsky N.M., Strebkov Y.S., Subbotin A.V. (2002) Radiation damage parameters for modelling of FRM irradiation conditions at the RADEX facility of INR RAS. Journal of nuclear materials, 307, 1042–1046.

References

1. Kovalchuk M.V., Smolsky S.L., Konoplev K.A. (2021) *Issledovatel'skiy reaktor PIK* [Research reactor PIK] *Kristallografiya* [Crystallography]. No. 66 (2). P. 184–190.
2. Claessens M. (2020) ITER: the giant fusion reactor. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
3. Krivshich A., Ilyin D., Hall-Wilton R. (2020) Strategy of Equipping the PIK Reactor Experimental Stations with Detection Systems. IAEA TECDOC SERIES. 251.
4. Kovalchuk M.V., Voronin V.V., Grigoriev S.V., Serebrov A.P. (2021) *Pribornaya baza reaktora PIK* [Instrument base of the PIK reactor] *Kristallografiya* [Crystallography]. No. 66 (2). P. 191–213.
5. High-flux Reactor at Petten. Nature 1961, 192, 708.
6. Rush J.J. US Neutron Facility Development in the Last Half-Century: A Cautionary Tale. Phys. Perspect, 2015, 17, 135–155.

7. Axmann A., Böning K., Rottmann M. FRM-II: The new German research reactor. Nuclear engineering and design, 1997, 178 (1), 127–133.
8. Hassanein A., Sizyuk V. Potential design problems for ITER fusion device. Scientific Reports, 2021, 11 (1), 1–11.
9. Abdurashitov D.N., Koptelov E.A., Lebedev S.G., Yants V.E. A gaseous radiochemical neutron monitor. Instruments and Experimental Techniques, 2004, 47 (3), 294–299.
10. Lebedev S.G., Akulinichev S.V., Iljinov A.S., Yants V.E. (2006) A gaseous radiochemical method for registration of ionizing radiation and its possible applications in science and economy. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 561(1). 90–99.
11. Lebedev S.G., Yants V.E. (2019) Radiochemical detector of spatial distribution of neutron flux density in nuclear reactor. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 916. 83–86.
12. Lebedev S.G., Yants V.E. (2021) State-of-the-art progress of gaseous radiochemical method for detecting of ionizing radiation. Nuclear Engineering and Technology. 53 (7). 2075–2083.
13. Lebedev S.G., Yants V.E. (2019) High-speed gas neutron detector for thermometry of thermonuclear plasma. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 945. 162633.
14. Lebedev S.G. (2025) Patent RF No. 2834904 «Sposob monitorirovaniya neytronnogo potoka v vysokopotochnykh yadernykh ustanovkakh» [RF Patent No. 2834904 «Method for monitoring neutron flux in high-flow nuclear installations»].
15. Petrov Yu.V., Erykalov A.N., Kotova L.M., Onegin M.S., Sakhnovsky E.G. (2003) Reaktor PIK-2 s ponizhennym raskhodom vysokoobogashchennogo urana [PIK-2 reactor with reduced consumption of highly enriched uranium] Atomnaya energiya [Atomic Energy], 95(4), P. 261–270.
16. Koptelov E.A., Lebedev S.G., Sobolevsky N.M., Strebkov Y.S., Subbotin A.V. (2002) Radiation damage parameters for modelling of FRM irradiation conditions at the RADEX facility of INR RAS. Journal of nuclear materials, 307, 1042–1046.

РАЗРАБОТКА ОПИСАТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ ЭМИССИИ КОНДУКТИВНЫХ ПОМЕХ КОЛЛЕКТОРНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ

Н.В. Лемешко, зам. нач. отдела АО «Корпорация «Комета», д-р техн. наук,
nlem83@mail.ru

В.Н. Захаров, студент НИУ «Высшая школа экономики», volodzakharov3@gmail.com

Рецензент: С.В. Стрельников, АО «Научно-исследовательский институт точных приборов», д-р техн. наук, orionsvs@mail.ru

В статье предлагается описательная модель эмиссии кондуктивных помех, формируемых коллекторными электродвигателями постоянного тока. Проанализированы особенности формирования таких помех, определены требования к описательной модели на основе четырех констант. Предложен алгоритм идентификации параметров модели на основе экспериментальных данных. Для двух образцов электродвигателей представлены примеры определения параметров предложенной модели и оценки ее погрешностей.

Ключевые слова: кондуктивная помеха, электродвигатель постоянного тока, коллектор, описательная модель.

DEVELOPMENT OF A DESCRIPTIVE MODEL FOR THE OCCURRENCE OF CONDUCTIVE INTERFERENCE IN COLLECTOR ELECTRIC MOTORS BASED ON THE RESULTS OF MEASUREMENTS IN THE FREQUENCY DOMAIN

N.V. Lemeshko, Deputy Head of Department, JSC «Kometa Corporation», Ph. D.,
nlem83@mail.ru

V.N. Zakharov, Student, NRU «Higher School of Economics», volodzakharov3@gmail.com

The article offers a descriptive model of the emission of conductive interference generated by collector DC electric motors. The features of the formation of such interference are analyzed, and the requirements for a descriptive model based on four constants are determined. An algorithm for identifying model parameters based on experimental data is proposed. Examples of determining the parameters of the proposed model and estimating its errors are presented for two samples of electric motors.

Keywords: conductive interference, DC electric motor, collector, descriptive model.

Введение

В настоящее время обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) электронных устройств (ЭУ) признано одной из основных проблем их проектирования. Наиболее пристальное внимание в этом смысле уделяется ЭМС на внутриаппаратном и внутрисистемном уровнях, от соблюдения условий которой зависят работоспособность и стабильность работы ЭУ в целом.

Широкое применение интегральной электронной компонентной базы (ЭКБ), изготавливаемой по все меньшим технологическим нормам, усугубляет проблему внутриаппаратной ЭМС. Это наряду со снижением напряжения электропитания обусловлено повышением быстродействия компонентов, в результате чего при прочих равных условиях снижаются как энергетика, так и длительность импульсных помех, вызывающих отклик в цифровых ЭУ в виде сбоев и искажения информации.

Практика показала, что понятие электромагнитной обстановки (ЭМО) [1, с. 3], широко используемое в сфере межсистемной ЭМС, может и должно применяться для ЭКБ, чувствительной к кондуктивным помехам. Соответственно, можно говорить о той или иной степени напряженности ЭМО для такой ЭКБ и о направлении ее изменения в категориях ухудшения или улучшения.

Обеспечение приемлемой ЭМО для чувствительной ЭКБ является инженерно-конструкторской задачей, которая должна решаться комплексно и экономически целесообразно. Для выработки мер по ограничению распространения кондуктивных помех необходимо иметь оценку их уровней. К широко распространенным источникам кондуктивных помех относятся коллекторные электродвигатели постоянного тока (ЭДПТ). Они используются в составе приводов и исполнительных механизмов, в системах принудительного охлаждения и т.д. Во многих случаях можно считать, что ЭДПТ работают в малонагруженном режиме, близком к холостому ходу. Особенностью ЭДПТ является возможность управления их производительностью путем либо изменения питающего напряжения, либо применения широтно-импульсной модуляции [2, с. 24; 3, с. 59].

Формируемая ЭДПТ электромагнитная обстановка в конкретных точках ЭУ будет зависеть как от частоты, так и от напряжения питания. При этом амплитуда импульсов таких помех достигает единиц вольт, и они могут стать причиной периодически проявляющихся или постоянных сбоев, например в цифровых устройствах. Из изложенного следует, что для обоснованного применения мер по снижению уровня помех и нормализации ЭМО для чувствительных элементов необходимо создать и использовать модель кондуктивных помех ЭДПТ, которая учитывала бы названные факторы. Такая модель предлагается в настоящей статье и является примером реализации инновационных подходов в сфере обеспечения электромагнитной совместимости.

Причины формирования кондуктивных помех коллекторными ЭДПТ

Основной причиной формирования помех ЭДПТ является наличие скользящего контакта между щетками и пластинами коллектора при одновременном наличии достаточно большой индуктивности у обмоток статора и якоря. Щетки изготавливают прессованием графитного либо угольного порошка, причем для снижения электрического сопротивления и повышения стойкости к износу в него добавляют мелкодисперсный медный порошок, полученный электролизом. Исходя из соображений прочности, долговечности и нагревостойкости, щетки для ЭДПТ невозможно сделать слишком тонкими – например, менее ширины пластины коллектора. Неравномерность протекания тока через щеточно-коллекторные переходы в ЭДПТ и является причиной появления кондуктивных помех.

В результате анализа типовой конструкции щеточно-коллекторного узла (рис. 1) можно выделить три причины возникновения электромагнитных помех в ЭДПТ.

1. Искрение при трении щеток о пластины коллектора имеет ту же природу, что и для любого другого скользящего контакта. Через щетки должен протекать постоянный ток, однако его значение претерпевает хаотичные колебания за счет изменения электрического сопротивления при угловом смещении якоря. В местах большего сопротивления повышается падение напряжения, возникает локальный нагрев, приводящий к искрению.

Интенсивность помех, вызванных трением щеток о пластины коллектора, а также их спектральный состав зависят от скорости вращения и тока в обмотках якоря, степени износа щеток и силы их прижатия к коллекторным пластинам.

2. Колебания потребления тока при подключении/отключении обмоток якоря указываются в литературе, например в [4, с. 28], как одна из основных причин формирования помех в ЭДПТ. Действительно, в процессе углового смещения якоря в контактной системе, образованной щетками и коллекторными пластинами, наблюдается цикличность подключения

и отключения обмоток якоря. Эти обмотки имеют сравнительно небольшое количество витков — от 1 до 20 шт. в зависимости от назначения, мощности ЭДПТ и других факторов. Индуктивность сориентированных в направлении полюсов индуктора обмоток, подключенных к источнику питания через контактные пластины коллектора, оказывается значительной. Это приводит к тому, что при подключении очередной обмотки якоря к щеткам ток через нее хоть формально и нарастает по экспоненциальному закону, но к моменту времени отключения обмотки не успевает увеличиться до потенциального максимума и в целом изменяется практически линейно. При отключении обмотки запасенная индуктивностью энергия тратится на пробой образовавшегося воздушного промежутка между коллекторной пластиной и щеткой. Таким образом, колебания тока за счет подключения и отключения обмоток якоря к щеткам будут иметь пилообразную форму.

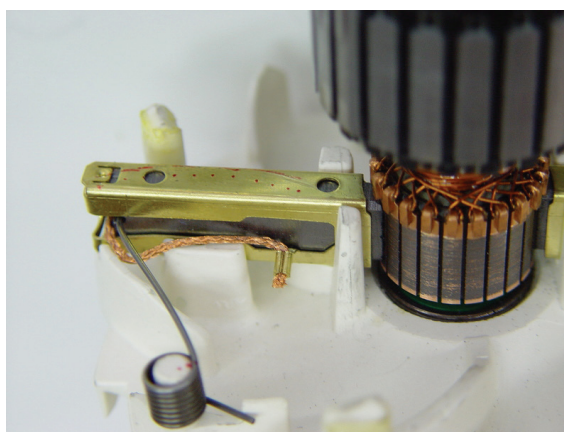


Рис. 1. Типовая конструкция щеточно-коллекторного узла ЭДПТ

На рис. 2 коллекторные пластины в количестве $k = 24$ шт. изображены с шагом 15° и с осевой симметрией, щетки расположены симметрично. Поэтому в упрощенном представлении описанные коммутационные процессы происходят синхронно для обеих щеток, соответственно за один оборот коллектора их количество составит k . Если электродвигатель обеспечивает скорость вращения якоря N об/с, то тогда частота изменения тока составит $F = kN$. Если коллектор имеет 24 пластины и частота вращения якоря составляет 50 об/с, то для ЭДПТ типовой конструкции частота F составит 1200 Гц. Существуют машины постоянного тока [5, с. 46], в которых в целях достижения специальных характеристик используются чередующиеся полюсы индукторов в четном количестве, а также большее количество щеток. Для таких ЭДПТ подсчет частоты коммутационных импульсов тока должен осуществляться с учетом конструктивных особенностей.

3. Индукционные перенапряжения при отключении обмоток якоря возникают с той же частотой, что и колебания тока. Индуктивность отключаемой обмотки запасает энергию, пропорциональную квадрату тока на момент отключения. После появления воздушного зазора между пластиной коллектора и щеткой эта индуктивность развивает на нем напряжение, достаточное для пробоя. Его возникновению способствует также разогрев щеток и пластин коллектора. Пробой, вызванный индукционным перенапряжением, имеет другую природу в сравнении с искрением в области скольжения пластин коллектора по щеткам. Он отличается большим напряжением и не переходит в дугу.

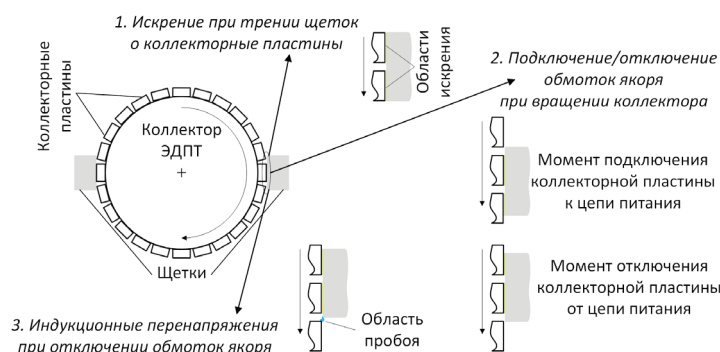


Рис. 2. Три механизма возникновения ЭМП в щеточно-коллекторном узле ЭДПТ

Интенсивность эмиссии кондуктивных помех определяется мощностью электродвигателя, током в обмотках якоря, техническим состоянием ЭДПТ, а также скоростью вращения якоря. Процесс их формирования следует рассматривать как следствие сочетания случайных факторов. Коллекторные ЭДПТ создают широкополосные и узкополосные составляющие ЭМП. Причины их появления тесно переплетены, и разделить эти составляющие даже при использовании современных средств измерений не всегда удастся. Для типовых скоростей вращения якоря ЭДПТ узкополосные составляющие лежат в диапазоне частот до 5 кГц, что можно наблюдать при анализе спектра в реальном времени [6, с. 107]. Однако, в сфере внутриаппаратной ЭМС помехи на частотах ниже 9 кГц обычно не рассматриваются.

Требования к описательной модели кондуктивных помех ЭДПТ и условия ее построения

Вопрос формализации описания эмиссии как кондуктивных, так и излучаемых помех до настоящего времени был решен лишь в малой степени, что определяется слишком широким разнообразием существующих ЭУ. Наиболее универсальными в этом отношении являются:

- спектрограммы помех, полученные в регламентированных условиях и при заданных настройках средств измерений, позволяющие формулировать выводы о максимальной спектральной плотности помех в диапазоне измеряемых частот;
- осциллограммы помех, полученные в режиме послесвечения и при обоснованно выбранных условиях синхронизации, позволяющие для конкретных условий измерений получить информацию об амплитуде и максимальной электрической площади импульсных помех, во многих случаях определяющей течение вызванных ими переходных процессов;
- статистические распределения импульсных помех, построенные в категориях амплитуд, длительностей импульсов и плотности вероятностей, дающие возможность декомпозировать картину помехоэмиссии, например, для идентификации источников помех.

Анализ помехоэмиссии обычно осуществляется в частотной области и с накоплением, а нормы помехоэмиссии задаются в категориях мощности помех для регламентированных условий измерений и являются общими для однотипных ЭУ. Анализ помех во временной области существенно ограничен в силу специфики измерительной задачи.

Ввиду изложенного будем строить описательную модель помехоэмиссии (ОМП) как зависимость спектральной плотности помех от частоты анализа и напряжения электропитания и в форме значений, не превышаемых помехоэмиссией. Такой подход хорошо себя зарекомендовал в области межсистемной ЭМС [6, с. 106; 7, с. 83]. К описательной модели можно предъявить следующие требования.

1. Она должна учитывать зависимость помехоэмиссии от напряжения электропитания и от частоты анализа. Диапазон адекватности модели должен включать все напряжения электропитания ЭДПТ, вплоть до номинального, при которых якорь ЭДПТ уверенно вращается. Считается, что полоса частот помехоэмиссии, обусловленной этим фактором, может простирается до 300 МГц [8, с. 190].

2. Нулевому значению напряжения электропитания должен для всех частот соответствовать нулевой уровень помехоэмиссии.

3. Модель должна строиться на основе результатов прямых измерений, условия проведения которых являются неотъемлемой частью границы адекватности модели.

4. Модель должна иметь предельно простую математическую форму.

5. Модель должна соответствовать требованиям по погрешности оценки уровня помехоэмиссии, характерным для современных средств измерений. В настоящее время типовая амплитудная погрешность для анализаторов спектра (АС) и для эквивалентов сети (ЭС) составляет 0,5 и 1,0 дБ соответственно. Общую погрешность измерений можно оценить на уровне 1,8 дБ, если учитывать их рассогласование с коаксиальной линией. Вместе с тем, для упомянутой выше аналогии по построению гарантированных диаграмм антенн принят подход [7, с. 85], состоящий в том, что уровни, заданные ДН, повышают на 2...5 дБ в зависимости от предполагаемого разброса характеристик антенн заданного типа. Ввиду этого, можно считать, что для рассматриваемой модели допустимо разумное смещение математического ожидания погрешности аппроксимации в область положительных значений.

Исходя из этих требований, а также базируясь на изложенных ниже результатах исследований, была выбрана следующая форма описательной модели кондуктивных помех коллекторных ЭДПТ:

$$E(f, U) = A(f)U^{B(f)}, \quad (1)$$

где $E(f, U)$ — уровень кондуктивных помех, мкВ, для напряжения питания ЭДПТ U , В, и частоты наблюдения f , Гц; $A(f) = cf^d$; $B(f) = ef^g$; c, d, e, g — коэффициенты, индивидуальные для каждого ЭДПТ, которые в контексте решаемой задачи будем считать безразмерными. Их определение должно осуществляться на основе массива полученных экспериментальных данных. При необходимости оценочные значения помехоэмиссии могут быть легко пересчитаны к логарифмической шкале.

Принципы получения экспериментальных данных для построения описательной модели кондуктивных помех ЭДПТ

Подход к получению экспериментальных данных, изложенный ниже, применим к любым ЭДПТ и основывается на классических измерениях эмиссии кондуктивных помех, проводимых в соответствии с [9, с. 3; 10, с. 3]. Основная сложность здесь состоит в том, что источник электропитания ЭДПТ имеет свое собственное внутреннее сопротивление, которое оказывает влияние на показания АС либо измерительного приемника. Для устранения такого влияния принято использовать ЭС, главной функцией которых является нормализация нагрузочного импеданса для помех, формируемых измеряемым объектом. Пример схемы ЭС, широко применяемой в зарубежных стандартах, представлен на рис. 3. Главными элементами, определяющими полное сопротивление эквивалента сети, являются входное сопротивление измерительного прибора, катушка индуктивности 50 мкГн и резистор сопротивлением 5 Ом. Остальные элементы схемы образуют фильтр верхних частот с частотой среза ниже 9 кГц и обеспечивают развязку испытуемого оборудования от сети электропитания. При измерениях кондуктивных помех, формируемых ЭДПТ, можно использовать стандартные ЭС, однако их схемы будут являться в некоторой степени избыточными.

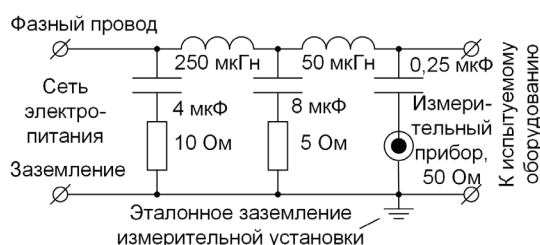


Рис. 3. Пример схемы эквивалента сети

При испытаниях ЭДПТ используется источник постоянного тока, имеющий на выходе собственный фильтр и одновременно низкое выходное сопротивление. Это позволяет несколько упростить схему нормализации импеданса (СНИ), пример которой показан на рис. 4а. Кроме того, в ряде случаев характеристики ЭС нормируются в полосе частот до 30 МГц, что является недостаточным для анализа помехоэмиссии ЭДПТ. Это еще один аргумент в пользу применения альтернативных упрощенных схем. При необходимости СНИ могут быть подвергнуты калибровке на разных частотах. Известно [8, с. 126], что в схемах ЭС на частотах выше 20 МГц в них могут наблюдаться резонансные явления, поэтому для элементов СНИ должны предприниматься меры по минимизации паразитных емкостей и индуктивностей.

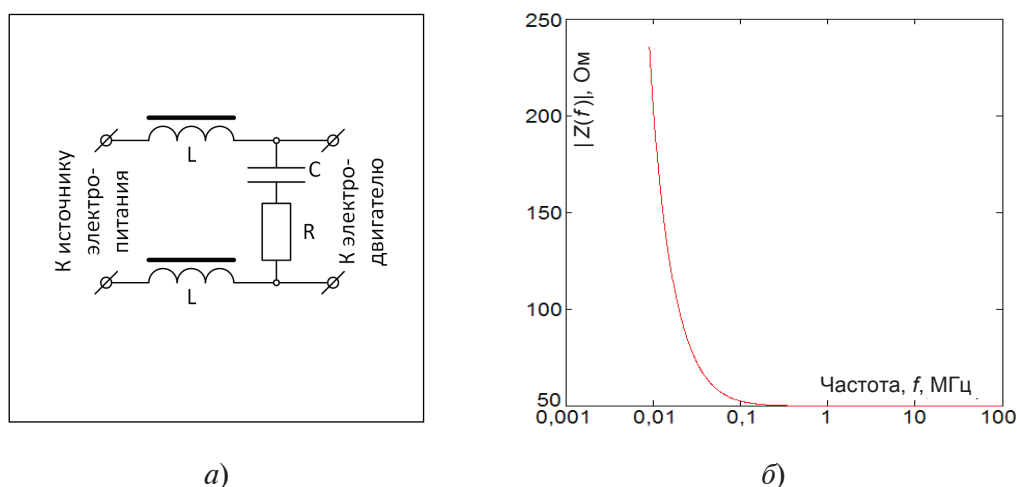


Рис. 4. Цепь нормализации импеданса:
а) принципиальная схема; б) расчетное значение нагрузочного импеданса для помех, формируемых ЭДПТ

Анализируемые помехи с соответствующего выхода СНИ по коаксиальной линии подаются на АС для осуществления прямых измерений, причем характеристики СНИ и настройки АС будут являться неотъемлемой частью модели кондуктивной помехоэмиссии, поскольку она строится для конкретных условий получения экспериментальных данных. Наиболее важными настройками АС будут полоса разрешения RBW , количество шагов по частоте N в полосе обзора, тип используемого детектора и характер накопления. Полосу разрешения RBW для обеспечения надлежащей детальности отображения спектрограмм целесообразно задавать исходя из соотношения $SPAN/RBW > 200$, где $SPAN$ – полоса обзора АС, устанавливаемая сообразно характеру эмиссии кондуктивных помех. Параметр N

определяет количество точек, в которых АС определяет уровень сигналов за один цикл раз-
вертки, причем в типовых случаях $N = 301$ или 625 шт., что определяется свойствами экрана
АС. Для АС высшего класса при считывании данных во внешние устройства значение N
может задаваться вплоть до 30 тыс. точек и более. Применительно к задаче анализа широко-
полосной эмиссии достаточно выполнения условия $N > 300$, что позволит получить должную
детализацию спектрограмм при существенных отличиях спектральной плотности по частоте.

Для измерений кондуктивных помех стандарты [11, с. 17] предписывают использовать
детекторы средних и квазипиковых значений, в которых установлены соответствующие
нормы помехоэмиссии. Но в зависимости от целей измерений могут использоваться и де-
текторы других типов, например, среднеквадратических значений. При построении спек-
трограмм следует использовать режим удержания максимума. Собственно, измерения сво-
дятся к наблюдению спектрограмм на экране и к сохранению результатов для последующей
математической обработки.

Несмотря на то, что в формуле (1) имеется только четыре параметра, изменение уровня
эмиссии кондуктивных помех может происходить весьма неравномерно при изменении как
частоты, так и напряжения. Ввиду этого целесообразно снимать спектрограммы с неболь-
шим шагом по напряжению. Проведенные эксперименты показали, что для ЭДПТ с номи-
нальным напряжением питания 27 В измерения надо проводить с шагом не более 2 В, на-
чиная с напряжения $8...12$ В.

Примеры получения экспериментальных данных для определения параметров модели кондуктивных помех

Для получения экспериментальных данных использовалась наиболее простая схема экви-
валента сети (см. рис. 4а), в которой нагрузочный импеданс для кондуктивных помех созда-
ется разделительной емкостью $C = 0,1$ мкФ, входным сопротивлением АС $R = 50$ Ом и дву-
мя одинаковыми индуктивностями $L_1 = L_2 = 7$ мГн, выполненными на ферритовых магни-
топроводах. В схеме на рис. 4а источник электропитания считается имеющим по высокой
частоте полное сопротивление, много меньшее сопротивления индуктивностей. Исходя из
этого, кондуктивные ЭМП, формируемые ЭДПТ, нагружаются на полное сопротивление,
зависящее от частоты и равное

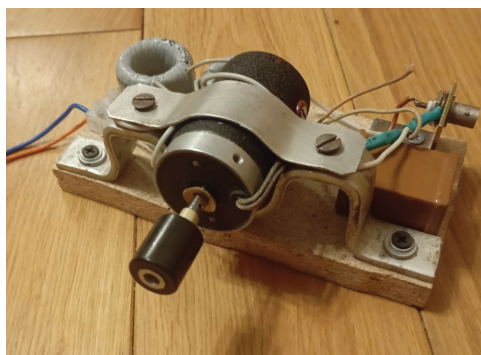
$$Z(f) = \frac{j4\pi fL(1 + j2\pi fRC)}{1 + j2\pi fRC - 8\pi^2 LC},$$

где $j = \sqrt{-1}$.

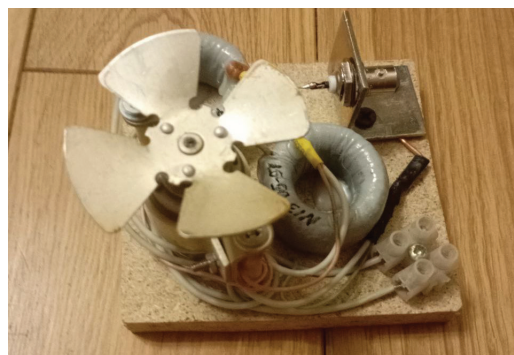
На рис. 4б показана расчетная зависимость модуля импеданса для такой схемы в интер-
вале частот от 9 кГц до 100 МГц, не учитывающая изменение индуктивностей с ростом
частоты. Резонансная частота такой схемы составляла около 6 кГц, т.е. лежала вне границ
диапазона А по классификации CISPR.

Для осуществления измерений были собраны стенды, на которых ЭДПТ размещались
вместе со схемами нормализации импеданса (рис. 5). В качестве объектов исследования
были выбраны коллекторные ЭДПТ марок ДК-1А и ДПМ-25-Н1-07 с номинальным напря-
жениями питания 27 В. Они работали в режиме, близком к холостому ходу.

Для получения экспериментальных данных о помехоэмиссии кондуктивных помех ЭДПТ
необходимо использовать установку, включающую анализатор спектра и источник вторич-
ного электропитания постоянного тока с регулируемым выходным напряжением, который
выбирается сообразно типу ЭДПТ. Частотный диапазон измерений кондуктивных помех
выбирается для каждого ЭДПТ индивидуально на основе наблюдения за картиной помехо-
эмиссии.



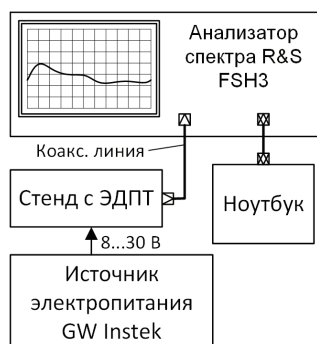
а)



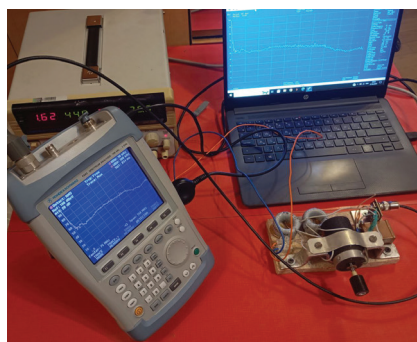
б)

Рис. 5. Стенды для проведения измерений с ЭДПТ марки:
а) ДК-1А; б) ДПМ-25-Н1-07

На рис. 6 показаны схема и фотография установки, использовавшейся для получения экспериментальных данных для обоих стендов. Она включала источник электропитания фирмы GW Instek, анализатор спектра R&S FSH3 и ноутбук для документирования результатов измерений.



а)

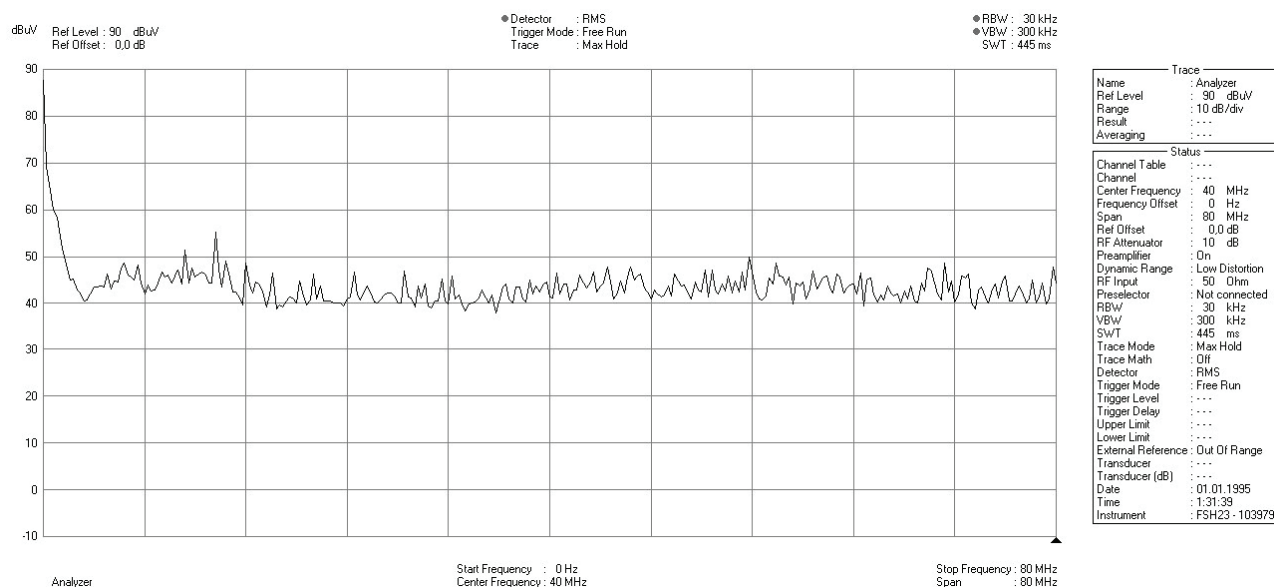


б)

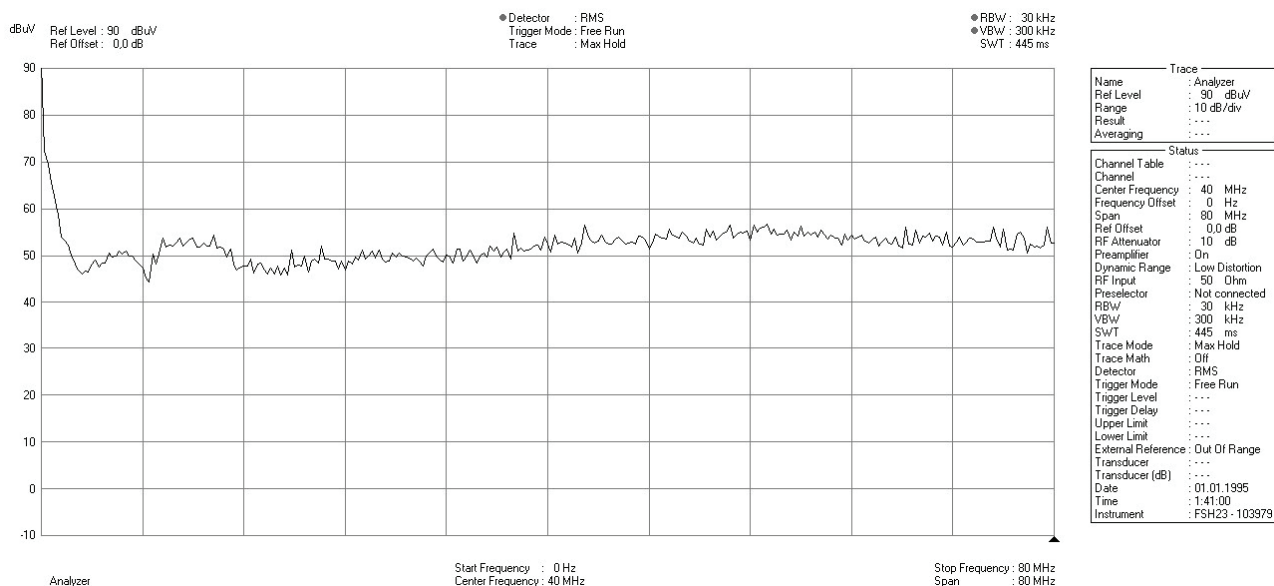
Рис. 6. Измерительная установка:
а) схема; б) фотография

На рис. 7 и 8 показаны примеры спектрограмм кондуктивных помех, снятых для обоих образцов ЭДПТ при напряжениях питания 12 и 30 В. Спектрограммы были получены в диапазоне частот от 0 до 80 МГц для полосы разрешения, равной 30 кГц. Измерения проводились в 301 точке, в режиме удержания максимума, с накоплением не менее 20 с. С учетом широкополосности формируемых ЭДПТ помех результаты измерений могут быть линейно пересчитаны к полосам, определяемым стандартами [9, с. 3; 10, с. 3]. Спектрограммы, подобные показанным на рис. 7 и 8, были получены для интервалов напряжений 8...30 В с шагом 2 В.

После осуществления измерений были подготовлены файлы с исходными данными для обработки, включающие матрицы с числом строк и столбцов, соответствующим количеству частотных точек и шагов по напряжению питания при измерениях.



a)



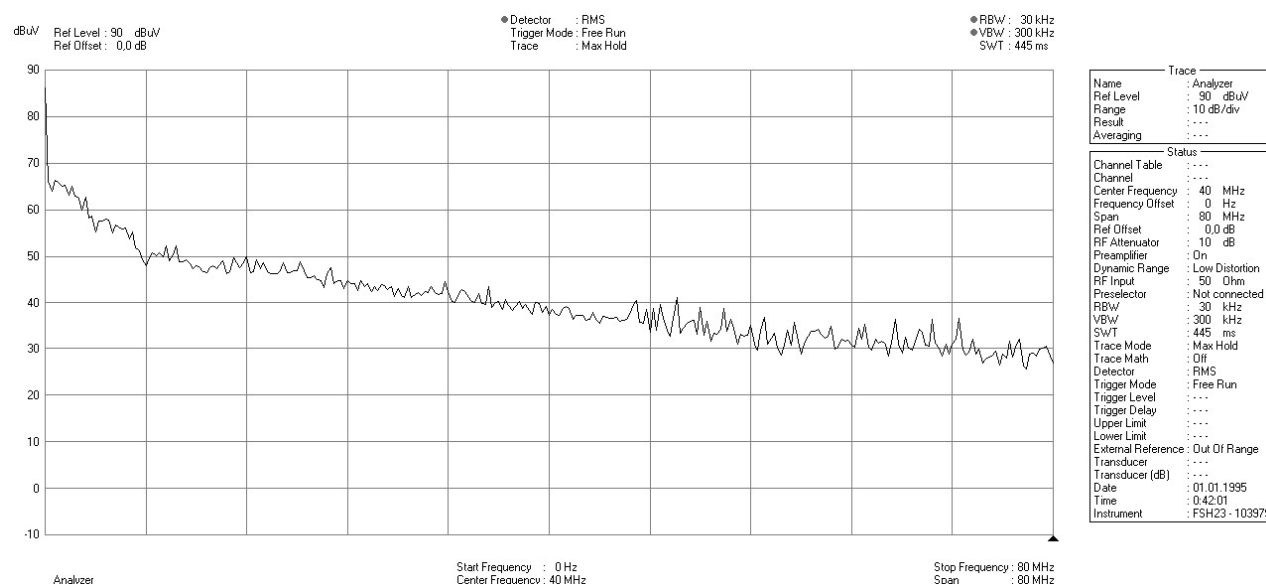
б)

Рис. 7. Примеры спектрограмм помех ЭДПТ ДК-1А при напряжении питания: а) 12 В; б) 30 В

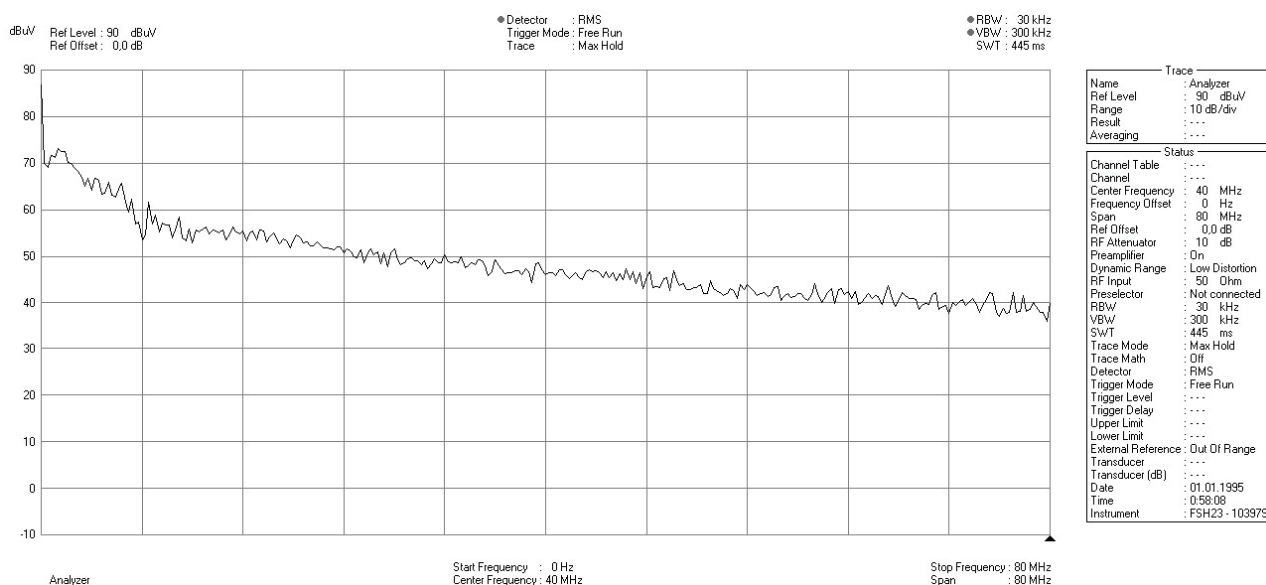
Алгоритм обработки результатов измерений

При выработке алгоритма обработки необходимо учитывать, что полученные для каждого напряжения значения могут иметь разброс до 6...7 дБ между смежными частотами измерений. Это будет наблюдаться даже в случае измерений с удержанием максимума, поскольку фактическая картина помехоэмиссии для ЭДПТ обусловлена совокупностью существенно различающихся по своей природе факторов. Ввиду этого алгоритм обработки результатов измерений в целях определения значений коэффициентов c , d , e , g в уравнении (1) должен

предусматривать операцию усреднения. Это в особенности важно, так как в нем используется степенная функция с существенной зависимостью от изменения показателя степени.



а)



б)

Рис. 8. Примеры спектрограмм помех ЭДПТ ДПМ-25-Н1-07 при напряжении питания: а) 12 В; б) 30 В

Для выполнения математической обработки предлагается алгоритм, схема которого показана на рис. 9. Исходно данные сохранения спектрограмм находятся в разных файлах, поскольку сопоставлены измерениям при разном напряжении электропитания ЭДПТ. Поэтому вначале необходимо подготовить массив M исходных данных для обработки в виде

таблицы, в которой первый столбец и первая строка включают значения частот и напряжений электропитания, для которых были проведены измерения. Остальные элементы массива — это измеренные значения уровня помех $E_{\text{изм}}(U, f)$ в дБмкВ. Поскольку модель (1) строится для абсолютных значений уровня помех, то далее осуществляется их пересчет к линейным единицам и формируется массив M' .

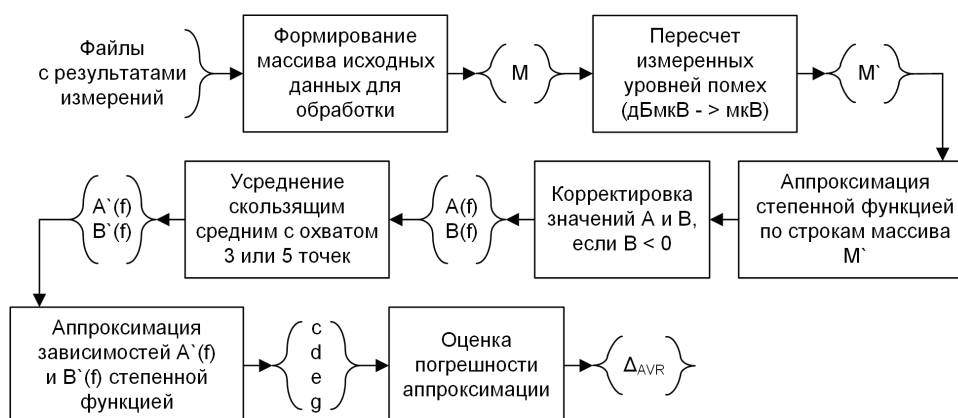


Рис. 9. Схема алгоритма обработки результатов измерений для получения характеристик модели и оценки ее погрешности

Для функций $A(f)$ и $B(f)$ выбрана степенная форма. Согласно [12, с. 153], аппроксимация степенной функцией может быть реализована на основе логарифмического ее представления, при котором она переходит в линейную зависимость. На основе применения такого подхода к каждой строке массива M' , сопоставленной напряжениям электропитания, определяются значения коэффициентов A и B , которые для каждой частоты наилучшим образом приближают к измеренным значениям уровня помех функцию (1). Таким образом, формируются вектор-столбцы A и B , элементы которых сопоставлены с частотами измерений f , т.е. таблично заданные функции $A(f)$ и $B(f)$. Для ЭДПТ с ростом U уровень помех $E_{\text{изм}}$ растет, однако результаты измерений для разных значений U имеют для отдельно взятой частоты случайный характер. Ввиду этого в редких случаях аппроксимация может давать значения $B < 0$ при аномально большом значении A . Такие значения вектор-столбцов A и B заменяются на средние, рассчитанные для смежных частот измерений.

Далее для вектор-столбцов A и B реализуется усреднение скользящим средним с охватом 3 или 5 точек, что позволяет получить более сглаженные данные A' и B' для второй аппроксимации, реализуемой по тому же методу. В результате рассчитываются значения коэффициентов c, d, e, g как основной результат работы алгоритма.

Учитывая специфику решаемой задачи и ее невысокую вычислительную сложность, целесообразно предусмотреть и расчет погрешностей аппроксимации, принимая за истинные значения результаты эксперимента, пересчитанные в мкВ. При этом интерес представляет значение средней погрешности Δ_{AVR} , а при достаточном объеме исходных данных может быть построено и распределение погрешностей. Значения погрешностей для рассматриваемой задачи целесообразно выразить в дБ.

Представленный алгоритм является отправной точкой для его возможной программной реализации.

Результаты реализации алгоритма для экспериментально полученных данных

Для реализации и обработки алгоритма использовалась система MathCAD. Экспериментально полученные данные были сведены в файлы Excel для каждого из двух стендов, при их чтении формировался массив M . На рис. 10 представлены результаты расчета зависимостей $A(f)$ и $B(f)$ для ЭДПТ ДК-1А и применения к ним усреднения скользящим средним с охватом $k = 5$. Указанные зависимости из-за случайного характера формирования помехоэмиссии имеют существенно изрезанный характер, что и обуславливает необходимость применения усреднения. Характер функций $A(f)$ и $A'(f)$ свидетельствует о том, что по результатам второй аппроксимации значение $d < 0$.

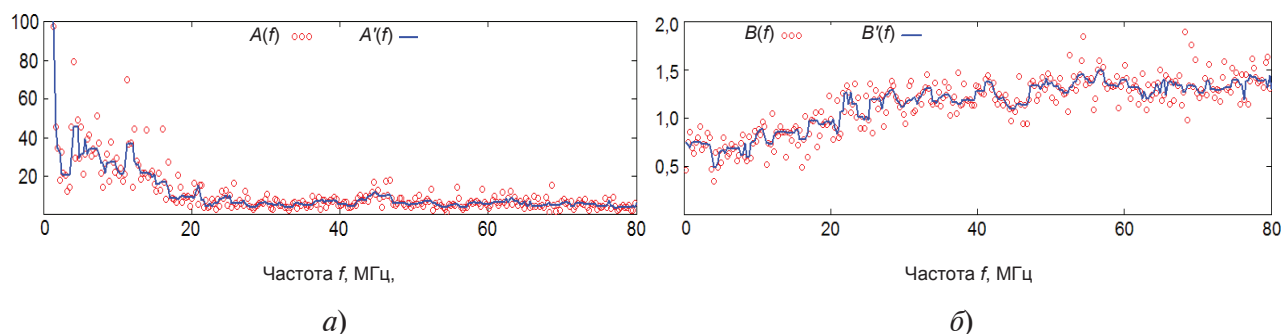


Рис. 10. Зависимости, полученные для ЭДПТ ДК-1А по результатам обработки экспериментальных данных: а) $A(f)$ и $A'(f)$; б) $B(f)$ и $B'(f)$

Применение аппроксимации к функциям $A'(f)$ и $B'(f)$ дает значения $c = 9,95 \cdot 10^5$; $d = -0,647$; $e = 0,018$; $g = 0,24$. На рис. 11 для примера представлены результаты сопоставления расчетных и экспериментальных значений помехоэмиссии на частоте 64,27 МГц, которые качественно отражают точность полученной аппроксимации.

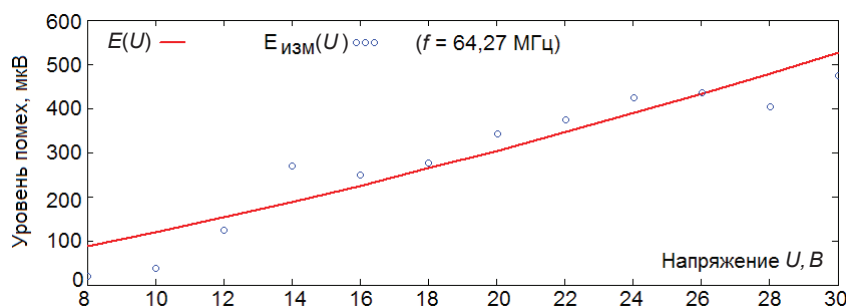


Рис. 11. Сопоставление расчетных и измеренных значений помехоэмиссии для ЭДПТ ДК-1А на частоте 64,27 МГц

Использование аппроксимации экспериментальных данных требует оценки ее точности. График распределения погрешностей, представленный на рис. 12, построен в категориях сопоставления количества измерений N и погрешностей Δ . Здесь использовались считавшиеся истинными значения $E_{изм}(U, f)$ для всех частот и напряжений, охваченных измерениями (всего 3600 точек). График построен с шагом 0,1 дБ.

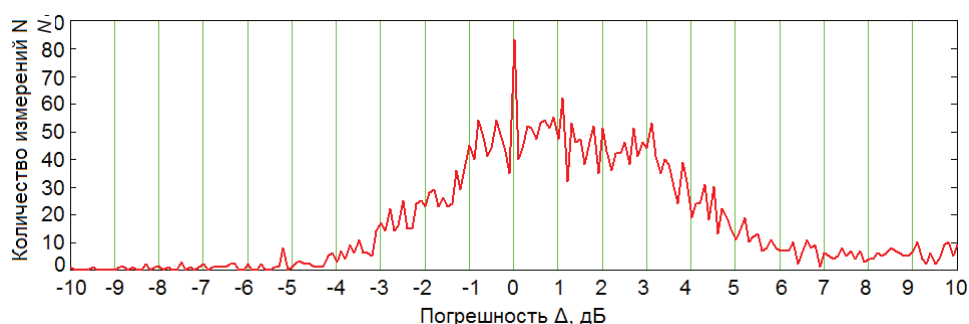


Рис. 12. График распределения погрешностей аппроксимации, построенный по результатам измерений помехоэмиссии ЭДПТ ДК-1А

Значение средней погрешности составляет $\Delta_{AVR} = 1,8$ дБ, средней по модулю — 3 дБ. Как видно, математическое ожидание погрешности не равно нулю, и расчетные значения погрешности в среднем оказываются чуть больше, чем измеренные. Вероятность появления погрешностей вне интервала $-3...+5$ дБ составляет не более 5 %. Таким образом, представленную аппроксимацию следует признать по точности вполне удовлетворительной, она вполне соотносится с погрешностью средств измерений, оцененной выше.

На рис. 13–15 представлены аналогичные графики, полученные по результатам измерений для ЭДПТ ДПМ-25-Н1-07 с применением того же алгоритма. Расчетные значения параметров модели составляют $c = 1,44 \cdot 10^6$; $d = -0,645$; $e = 0,101$; $g = 0,115$. Характеристики погрешности аппроксимации в данном случае оказываются заметно больше. Значение средней погрешности составляет $\Delta_{AVR} = 1,6$ дБ, средней по модулю — 4,8 дБ. Вероятность появления погрешностей вне интервала $-4...+6$ дБ составляет не более 25 %, что с учетом специфики решаемой задачи можно рассматривать как удовлетворительный результат. Снижение погрешностей аппроксимации может быть достигнуто корректировкой коэффициентов в небольших интервалах относительно найденных значений.

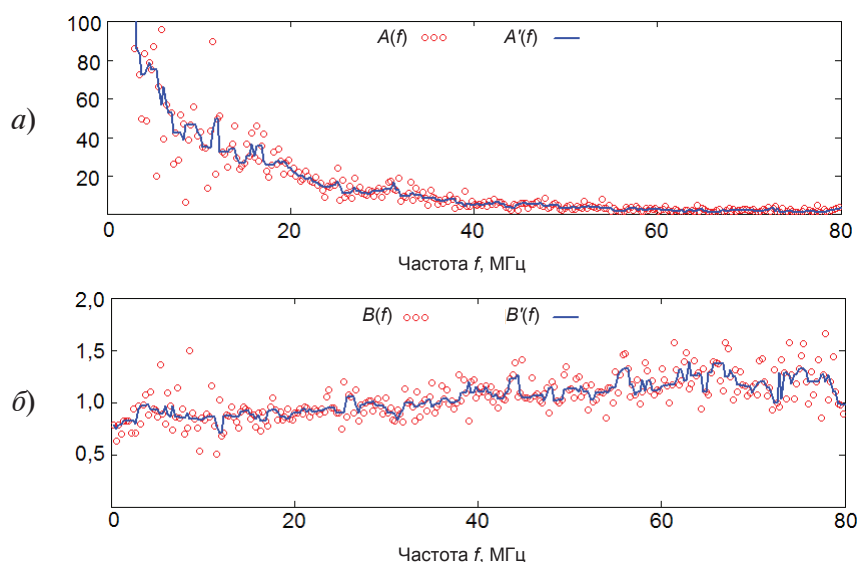


Рис. 13. Зависимости, полученные для ЭДПТ ДПМ-25-Н1-07 по результатам обработки экспериментальных данных: а) $A(f)$ и $A'(f)$; б) $B(f)$ и $B'(f)$

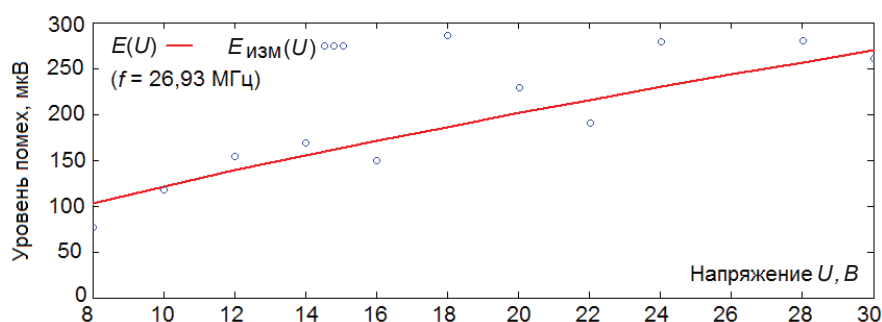


Рис. 14. Сопоставление расчетных и измеренных значений помехоэмиссии для ЭДПТ ДПМ-25-Н1-07 на частоте 26,93 МГц

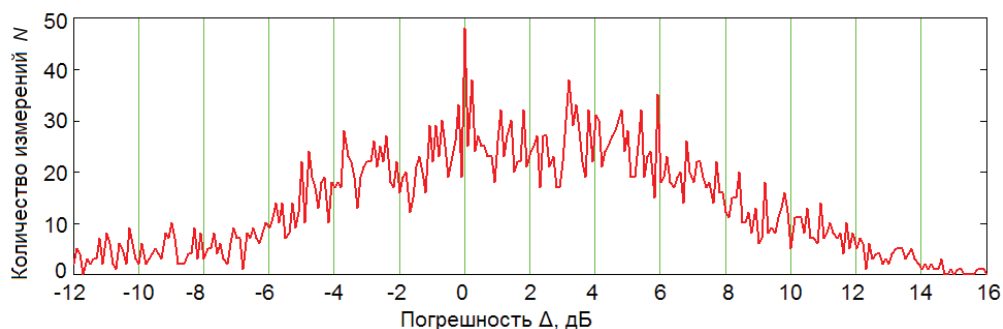


Рис. 15. График распределения погрешностей аппроксимации, построенный по результатам измерений помехоэмиссии ЭДПТ ДПМ-25-Н1-07

Представленные примеры идентификации параметров и расчета погрешностей аппроксимации в целом говорят об эффективности предложенной описательной модели эмиссии кондуктивных помех ЭДПТ. Для определения среднестатистического значения погрешности для такого метода описания помех требуется, очевидно, исследовать большее количество коллекторных ЭДПТ разных конструкций.

Заключение

Таким образом, предложенная форма описания помехоэмиссии для коллекторных ЭДПТ может быть сведена фактически к четырем параметрам, соответствующим заданным условиям измерений. Для описания эмиссии кондуктивных помех для коллекторных ЭДПТ могут быть предложены и другие формы моделей с иными принципами идентификации параметров.

В дальнейшем алгоритм расчета параметров модели может быть усовершенствован с использованием, например, следующего подхода. Значения c , d , e , g , найденные по схеме на рис. 9, можно рассматривать как их первое приближение. Далее они уточняются на основе либо анализа, либо функций чувствительности по каждому из параметров, либо эволюции распределения погрешностей. Предварительный анализ показывает, что наилучшее приближение может быть достигнуто при варьировании параметров модели в пределах $\pm 15\%$. Для осуществления такой оптимизации необходимо использовать строго формализованные математические критерии.

Также нельзя не сказать о проблеме применимости в инженерном деле результатов измерений кондуктивных помех по методикам, выработанным в сфере ЭМС. Выполнение предписаний стандартов по измерениям помехоэмиссии ориентировано на обеспечение повторяемости и воспроизводимости результатов измерений, в том числе для их сопоставления с нормами помехоэмиссии. При этом используются схемы нормализации нагрузочного импеданса — эквиваленты сети. Однако применение источников помехоэмиссии типа ЭДПТ сопровождается иными его значениями, определяемыми частотными свойствами питающей электросети. При проектировании устройств пересчет измеренных уровней помех к фактическим условиям эксплуатации их формирующих устройств невозможен, так как отсутствует информация о внутреннем их сопротивлении. Эту ситуацию могло бы исправить измерение уровня помех при помощи двух ЭС с разным полным сопротивлением. Такой подход необходим для перехода к инженерному применению результатов измерений по ЭМС, по крайней мере на уровне некоторых широко применяемых компонентов и функционально законченных блоков, формирующих в процессе работы заметные кондуктивные помехи. Область применения данного подхода должна быть очерчена в ходе теоретической проработки поставленной проблемы.

Список литературы

1. ГОСТ Р 51317.2.5—2000. Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитная обстановка. Классификация электромагнитных помех в местах размещения технических средств. М.: Издательство стандартов, 2001. 40 с.
2. Шрайбер Г. 300 схем источников питания. Выпрямители, импульсные источники питания, линейные стабилизаторы и преобразователи. М.: ДМК, 2000. 224 с.
3. Лемешко Н.В., Захарова С.С. Определение закона широтно-импульсной модуляции без использования вспомогательных сигналов // *Электросвязь*. 2022. № 4. С. 58—64.
4. Лютов С.А. Индустриальные помехи радиоприему и борьба с ними. М.-Л.: Государственное энергетическое издательство, 1951. 239 с.
5. Бютицкий И.Б., Музылева И.В. Электрические машины. Двигатель постоянного тока. Курсовое проектирование. М.: Лань, 2018. 168 с.
6. Лемешко Н.В., Горелкин М.В. Измерения помех, формируемых двигателями постоянного тока, с помощью приборов компании Rigol. Часть 1 // *Электроника: наука, технология, бизнес*. 2024. № 4 (235). С. 104—110.
7. Бузов А.Л., Быховский М.А., Васехо Н.В. и др. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем / под ред. М.А. Быховского М.: Эко-Трендз, 2006. 376 с.
8. Уильямс Т. ЭМС для разработчиков продукции / пер. с англ. В.С. Кармашева, Л.Н. Кечиева. М.: Издательский дом «Технологии», 2003. 540 с.
9. ГОСТ Р 51319—99. Совместимость технических средств электромагнитная. Приборы для измерения индустриальных радиопомех. Технические требования и методы испытаний. М.: Издательство стандартов, 2000. 57 с.
10. ГОСТ Р 51318.16.1.1—2007. Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к аппаратуре для измерения параметров индустриальных радиопомех и методы измерений. Часть 1—1. Аппаратура для измерения параметров индустриальных радиопомех и помехоустойчивости. Приборы для измерения индустриальных радиопомех. М.: Стандартинформ, 2008. 58 с.
11. ГОСТ 51320—99. Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи индустриальные. Методы испытаний технических средств — источников индустриальных помех. М.: Издательство стандартов, 2000. 39 с.
12. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2003. 632 с.

Reference

1. GOST R 51317.2.5–2000. *Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Elektro-magnitnaya obstanovka. Klassifikatsiya elektromagnitnykh pomekh v mestakh razmeshcheniya tekhnicheskikh sredstv* [GOST R 51317.2.5–2000. Compatibility of technical means is electromagnetic. Electromagnetic environment. Classification of electromagnetic interference in places where technical means are placed] *Izdatel'stvo standartov* [Publishing House of Standards]. Moscow. 2001. 40 p.
2. Schraiber G. (2000) *300 skhem istochnikov pitaniya. Vypryamiteli, impul'snye istochniki pitaniya, lineynye stabilizatory i preobrazovateli* [300 schemes of power sources. Rectifiers, switching power sources, linear stabilizers and converters] *DMK* [DMK]. Moscow. 224 p.
3. Lemeshko N.V., Zakharova S.S. (2022) *Opredelenie zakona shirotno-impul'snoy modulyatsii bez ispol'zovaniya vspomogatel'nykh signalov* [Determination of the law of pulse-width modulation without the use of auxiliary signals] *Elektrosvyaz'* [Electrosvyaz]. No. 4. P. 58–64.
4. Lyutov S.A. (1951) *Industrial'nye pomekhi radiopriemu i bor'ba s nimi* [Industrial interference to radio reception and the fight against them] *Gosudarstvennoe energeticheskoe izdatel'stvo* [Gosudarstvennoe Energeticheskoe izdatel'stvo]. Moscow. 239 p.
5. Byutitsky I.B., Muzyleva I.V. (2018) *Elektricheskie mashiny. Dvigatel' postoyannogo toka. Kursovoe proektirovanie* [Electric machines. DC motor. Course design] *Lan'* [Lan Publ]. Moscow. 168 p.
6. Lemeshko N.V., Gorelkin M.V. (2024) *Izmereniya pomekh, formiruemykh dvigatelyami postoyannogo toka, s pomoshch'yu priborov kompanii Rigol* [Measurement of interference generated by DC motors using Rigol devices] *Chast' 1. Elektronika: nauka, tekhnologiya, biznes* [Part 1. Electronics: science, technology, business]. No. 4 (235). P. 104–110.
7. Buzov A.L., Bykhovsky M.A., Vasekho N.V. et al. (2006) *Upravlenie radiochastotnym spektrom i elektromagnitnaya sovmestimost' radiosistem. Pod red. M.A. Bykhovskogo* [Radio frequency spectrum management and electromagnetic compatibility of radio systems. Ed. by M.A. Bykhovsky] *Eko-Trendz* [Eco-Trends]. Moscow. 2006. 376 p.
8. Williams T. (2003) *EMS dlya razrabotchikov produktsii* [EMS for product developers] *Izdatel'skiy dom «Tekhnologii»* [Publishing House «Technologies»]. Moscow. 540 p.
9. GOST R 51319–99. *Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Pribory dlya izmereniya industrial'nykh radiopomekh. Tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy* [GOST R 51319–99. Compatibility of technical means is electromagnetic. Devices for measuring industrial radio interference. Technical requirements and test methods] *Izdatel'stvo standartov* [Publishing House of Standards]. Moscow. 2000. 57 p.
10. GOST R 51318.16.1.1–2007. *Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Trebovaniya k apparature dlya izmereniya parametrov industrial'nykh radiopomekh i metody izmereniy. Chast' 1–1. Apparatura dlya izmereniya parametrov industrial'nykh radiopomekh i pomekhoustoychivosti. Pribory dlya izmereniya industrial'nykh radiopomekh* [GOST R 51318.16.1.1–2007. Compatibility of technical means is electromagnetic. Requirements for equipment for measuring parameters of industrial radio interference and measurement methods. Part 1-1. Equipment for measuring parameters of industrial radio interference and noise immunity. Devices for measuring industrial radio interference] *Standartinform* [Standartinform]. Moscow. 2008. 58 p.
11. GOST 51320–99. *Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Radiopomekhi industrial'nye. Metody ispytaniy tekhnicheskikh sredstv – istochnikov industrial'nykh pomekh* [GOST 51320–99. Compatibility of technical means is electromagnetic. Industrial radio interference. Methods of test equipment, industrial noise sources] *Izdatel'stvo standartov* [Publishing house of standards]. Moscow. 2000. 39 p.
12. Bakhvalov N.S., Zhidkov N.P., Kobelkov G.M. (2003) *Chislennyye metody* [Numerical methods] *Binom. Laboratoriya znaniy* [Binom. Laboratory of Knowledge]. Moscow. 632 p.

ИННОВАЦИОННЫЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ: РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И РЕМЕДИАЦИЯ ИМПАКТНЫХ ЭКОСИСТЕМ

В.Н. Башкин, зав. лаб. Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, проф., д-р. биол. наук, vladimirbashkin@yandex.ru

Рецензент: С.И. Колесников, ФГАУ ВО «Южный федеральный университет», д-р с.-х. наук, colesnikov@sfedu.ru

Предложен пакет инновационных биогеохимических природоподобных технологий, защищенных патентами РФ, для управления микробным блоком биогеохимических циклов при рекультивации и ремедиации импактных экосистем.

Ключевые слова: инновации, природоподобные технологии, биогеохимические технологии, нарушенные почвы, загрязненные почвы, импактные экосистемы.

INNOVATIVE BIOGEOCHEMICAL TECHNOLOGIES: RECLAMATION AND REMEDIATION OF IMPACT ECOSYSTEMS

V.N. Bashkin, Head of Department, Institute of Physical, Chemical, and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences, Ph. D., Professor, vladimirbashkin@yandex.ru

A package of innovative biogeochemical nature-like technologies, protected by patents of the Russian Federation, is proposed for managing the microbial block of biogeochemical cycles during the reclamation and remediation of impact ecosystems.

Keywords: innovations, nature-like technologies, biogeochemical technologies, destroyed soils, polluted soils, impact ecosystems.

Введение

Под биогеохимическими технологиями рекультивации нарушенных и загрязненных почв и экосистем подразумеваются технологии, направленные на восстановление их биогеохимической структуры, прежде всего на уровне микробного блока. Такие технологии называются еще природоподобными. Также они являются инновационными, обладают новизной и защищаются соответствующими патентами [1].

В основу различных биогеохимических технологий заложены принципы управления стратегиями развития микробных сообществ в различных компонентах экосистем, в почвах, природных водах, растениях. В целом смена доминирующей экологической стратегии микробного сообщества почвы является механизмом адаптации почвенных микроорганизмов к изменению экологической ситуации. Именно на понимание физико-химических и биологических механизмов и управление на этой основе адаптацией микробиома и направлено применение биогеохимических технологий. Целью работы, соответственно, является рассмотрение технологических приемов восстановления биогеохимических циклов в условиях различных загрязнений и нарушений в различных природных регионах, в импактных экосистемах в зонах развития газовой промышленности.

Оценка и восстановление микробного звена биогеохимических циклов

В условиях усиления континентальности климата в полярных регионах на фоне нарушения растительного покрова как за счет промышленной нагрузки, так и в результате перемены

паса северных оленей происходит растепление почвогрунтов. Это сопровождается рядом отрицательных геоэкологических и эпидемиологических последствий. В частности, в течение жаркого лета 2016 г. наблюдалась вспышка эпидемии сибирской язвы, обусловленная выходом на поверхность почвы могильников умерших еще в 1940-х гг. животных. Возбудителем этой болезни является бактерия *Bacillus anthracis* [2, 3]. При этом очаги болезни не были своевременно выявлены, в первую очередь из-за недостаточно развитой сети санитарно-эпидемиологических станций на огромной территории полуострова Ямал, что и способствовало развитию эпизоотии. Это предопределило необходимость разработки простой природоподобной биогеохимической технологии для первичной оценки микробного загрязнения.

Была разработана инновационная технология оперативной оценки микробного загрязнения природных вод, защищенная патентом на изобретение РФ № 2735756. В основе этой технологии – отбор с определенных мест выпаса скота образцов навоза, которые высушивают (при комнатной температуре) и просеивают (через сито с ячейками диаметром 3 мм). Затем в сухих и водных пробах из навоза определяют микробное загрязнение путем анализа активности фермента дегидрогеназы. В табл. 1 приведены показатели статистически доказанного микробного загрязнения воды.

Таблица 1

Идентификация микробного загрязнения водной среды из навоза крупного рогатого скота посредством анализа активности фермента дегидрогеназы

№ пробы	Соотношение «навоз:вода»	Активность фермента дегидрогеназы, мкг 2-, 3-, 5-трифенилформазона – $C_{19}H_{16}N_4/(г \cdot сут)$ [проба № 1] и мкг $C_{19}H_{16}N_4/(мл \cdot сут)$ [пробы № 2, 3, 4 и 5]	Количество микробов, клеток/г [проба № 1] и клеток/мл [пробы № 2, 3, 4 и 5]
1	1:0	667	$2.2 \cdot 10^9$
2	1:1	248	$0.7 \cdot 10^8$
3	1:2	177	$5.2 \cdot 10^6$
4	1:3	59	$1.7 \cdot 10^6$
5	1:4	33	$1.0 \cdot 10^6$

При этом значения активности фермента дегидрогеназы были подтверждены результатами анализа количества микробов, продуцирующих данный фермент в различных пробах. Так, проба сухого навоза № 1 как первичного очага микробов характеризуется максимальными значениями активности фермента дегидрогеназы, 667 мкг $C_{19}H_{16}N_4/(г \cdot сут)$, и количеством микробов, $2.2 \cdot 10^9$ клеток/г, продуцирующих данный фермент. В водных пробах навоза № 2, 3, 4 и 5 как вторичного очага микробов при расширении соотношения «навоз:вода» в ряду 1:1, 1:2, 1:3 и 1:4 активность фермента пропорционально падает в зависимости от количества микробов. Следует отметить, что если результаты анализа показывают нулевое значение активности фермента дегидрогеназы, то это означает полное отсутствие микробного загрязнения водной среды из навоза.

Предложенный метод позволяет оперативно (в течение 1 суток):

- идентифицировать микробное загрязнение водной среды из навоза скота, происходящее в результате просачивания через навоз дождевых и талых вод, которые образуют поверхностные и внутрипочвенные стоки;
- обеспечить высокую точность и качество оценки эпидемиологической ситуации, вызванной патогенными микробами на территориях пастбищного скотоводства, первичным очагом которых может быть навоз больных животных;
- обосновать принятие профилактических или ремедиационных мер, чтобы избежать инфицирования местного населения через загрязненные поверхностные и подземные водоисточники, используемые для питьевых целей.

Соответственно, как только при избыточной пастбищной нагрузке растительный покров оказывается полностью поврежденным или фрагментированным, что способствует формированию на положительных (выпуклых) формах рельефа обнажений почвогрунтов, соответственно, механизм эпизоотии может запускаться. Таким образом, восстановление почвенно-растительного покрова является наиболее эффективным путем предотвращения эпизоотии.

Технологический регламент рекультивации почв нарушенных участков в арктических регионах

Технологический регламент рекультивации почв нарушенных участков заключается в следующем.

На первой стадии:

а) на крупномасштабной картосхеме территории (масштаб 1:200 000 и крупнее), предназначенной для рекультивации почв, выделяют отдельные участки с нарушенными и загрязненными почвами и почвогрунтами с измерением их площадей, а также определяют места расположения торфяных залежей, откуда будет использоваться торф для рекультивации;

б) с указанных участков и залежей отбирают, соответственно, усредненные репрезентативные образцы почвы и торфа (из слоя 0–5–6 см) как для определения механического (гранулометрического) состава или полной влагоемкости почвы, так и в целях последующего выбора дозы торфа в виде соотношения «торф:почва», необходимого для рекультивации конкретного участка;

в) механический (гранулометрический) состав почвы, т.е. относительное содержание в ней частиц различной величины (гранул), определяют в случае рекультивации почв на территориях с волнистым рельефом и неоднородным почвенным покровом;

г) полную влагоемкость почвы, т.е. наибольшее количество влаги, которое содержится в почве при полном насыщении всех пор, определяют в случае рекультивации почв на территориях с равнинным или слаборасчлененным рельефом и однообразным почвенным покровом;

д) в течение зимнего периода проводят аналитические работы и серии вегетационных и модельных опытов для определения требуемых технологических параметров с гарантированным результатом рекультивации.

Вторая стадия:

а) на основе выбранного соотношения «торф:почва» рассчитывают как массу торфа, заделываемую в 0–5–6 см слой нарушенной почвы, так и массу самой нарушенной почвы в слое 0–5–6 см, исходя из площади рекультивируемого участка;

б) массу торфа предварительно доводят до рассыпчатого состояния путем воздушной сушки, что необходимо для удобства его равномерного распределения по всей площади рекультивируемого участка и дальнейшей заделки в искомый слой почвы;

в) заделку торфа в соответствующих дозах в 0–5–6 см слой нарушенной почвы участка и посев семян смеси многолетних злаковых трав осуществляют по принципу устройства газонов на больших площадях или методом «залужения», т.е. создания сплошного травяного покрова на участке, используя соответствующие технологии и технику;

г) в составе травосмеси, формируемой из многолетних злаковых трав, могут быть пырейник сибирский (*Elymus sibiricus*), кострец безостый (*Bromus inermis*), овсяница луговая (*Festuca pratensis*), овсяница красная (*Festuca rubra*), мятлик луговой (*Poa pratensis*), тимopheевка луговая (*Phleum pratense*) и другие виды, которые позволяют получить густой травостой и плотный дерн на рекультивируемом участке;

д) эффективным приемом повышения устойчивости произрастания вновь создаваемых фитоценозов на нарушенных почвах является посев вышеуказанной травосмеси с включением различных видов местной флоры.

Третья стадия:

а) для улучшения посевных свойств семян, регулирования состояния растений на различных стадиях их роста и развития, в процессе формирования их продуктивности, а также повышения устойчивости растений к неблагоприятным воздействиям внешней среды применяют препарат гумат калия, используемый в определенных дозах для замачивания семян перед посевом, корневой подкормки и некорневой подкормки (опрыскивания) в период вегетации, с использованием соответствующих технологии и техники;

б) препарат гумат калия выделяют оригинальным способом из местных торфов Ямало-Ненецкого автономного округа, когда извлечение, прежде всего гуминовых кислот, из гумуса торфа и их очистка производится по всем правилам продуцирования химически чистых веществ, практически не затрагивающих молекулярные структуры гуминовых кислот, что в конечном счете гарантирует получение стабильного препарата гумата калия;

в) дальнейший уход за растительностью на рекультивируемом участке осуществляют, также используя соответствующие технологии и технику; при изреживании (по тем или иным причинам) травостоя проводят дополнительный посев семян многолетних злаковых трав;

г) в целом об эффективности рекультивации нарушенных почв с использованием торфа и гумата калия судят по результатам сравнительного анализа биохимической активности, и в частности активности фермента дегидрогеназы рекультивируемой нарушенной почвы и ненарушенной (фоновой) почвы, определяемой методом спектрофотометрии (согласно патенту РФ № 2387996).

Биогеохимические технологии рекультивации пирогенных и загрязненных углеводородами почв и нейтрализации углеводородных шламов

Биогеохимические технологии рекультивации пирогенных и загрязненных углеводородами почв и нейтрализации углеводородных шламов включают технологические подходы к восстановлению биогеохимической структуры и плодородия пирогенных почв, к очистке почв от нефти, газового конденсата и к обезвреживанию углеводородных шламов. Данные технологии были успешно апробированы *in situ* и *in vitro* в нарушенных и загрязненных экосистемах в различных почвенно-климатических условиях страны: в Московской области (55°37' с. ш., 37°44' в. д.) и Ставропольском крае (45°03' с. ш., 43°16' в. д.) в целях восстановления почв импактных экосистем.

1. Апробация биогеохимической технологии рекультивации пирогенной почвы *in situ* в Ставропольском крае

Биогеохимическая технология рекультивации была апробирована *in situ* для восстановления пирогенной темно-каштановой почвы бермы амбара, т.е. полосы, прилегающей к круглому контуру данного объекта газовой промышленности (Ставропольский край). Причиной случайного возгорания исследуемой темно-каштановой почвы бермы амбара вместе с произрастающей на ней растительностью могла быть ее насыщенность углеводородами газового конденсата, поступающими в составе жидких отходов, образуемых при очистке полости газопроводов и резервуаров, что придавало высокую горючесть и привело к пирогенному образованию терракотового цвета.

Следует отметить, что возгорание почвы может происходить при концентрациях углеводородов в 4–8 раз меньших, чем концентрации, при которых горючее вещество способно выделиться в отдельную фазу и образовать жидкие скопления на поверхности почвы [4].

Как видно из табл. 2, пирогенная почва существенно отличается от фоновой почвы по физико-химическим и биохимическим характеристикам.

Низкое значение $pH_{\text{сол.}}$ пирогенной почвы связано с тем, что изначально содержащиеся в ней углеводороды газового конденсата (RH) под действием возгорания превращались в малоустойчивые гидропероксиды (ROOH), распадающиеся с образованием различных окисленных соединений, в том числе кислот, что способствовало сильному подкислению почвы.

В результате термического процесса также уменьшилось содержание в почве тонкодисперсной фракции – ила и глины, что привело к относительному возрастанию количества песка.

Таблица 2

Физико-химическая и биохимическая характеристика почв (Ставропольский край)

Почва	рН _{сол.}	Содержание, %			Активность ферментов, %	
		ил, <0,001 мм	физическая глина, <0,01 мм	физический песок, >0,01 мм	каталаза	дегидрогеназа
Фоновая	5,7	26,0	54,4	45,6	100	100
Пирогенная	3,6	4,3	32,2	67,8	23,8	4,7

Исследования также показали, что активность каталазы и дегидрогеназы пирогенной почвы была очень низкой, соответственно 23,8 и 4,7% от активности фоновой почвы. Минимальная активность данных ферментов связана с тем, что при пирогазации почвы выживает только небольшой пул термотолерантных форм микроорганизмов, которые сохраняются в адсорбированном состоянии на обугленных материалах и во внутренней их части, не затронутой воздействием огня [5, 6].

Рекультивация пирогенной почвы производилась следующим образом: предварительно на берме амбара обустроивали делянки (0,25 м²), в которые после разрыхления почвы (слой 0–15 см) заделывали биокомпост «Пикса» [7] в дозах 6,5 и 13,0 кг/м²; затем осуществляли посев смеси многолетних злаковых трав – мятлика лугового (*Poa pratensis*), овсяницы красной (*Festuca rubra*), райграса пастбищного (*Lolium perenne*), гребенника обыкновенного (*Cynosurus cristatus*), полевицы белой (*Agrostis alba*) и полевицы обыкновенной (*Agrostis vulgaris*). Контрольный вариант представлял собой делянку без внесения биокомпоста, но с посевом и выращиванием трав. Отбор проб почвы и растений на анализ производили на 42-е сутки. Эффективность рекультивации пирогенной почвы оценивали посредством определения активности ферментов каталазы и дегидрогеназы, а также биомассы смеси многолетних злаковых трав.

Как видно из рис. 1, внесение биокомпоста «Пикса» в пирогенную почву повышало активность ферментов каталазы и дегидрогеназы в зависимости от дозы, соответственно, в 1,4 и 1,6, в 2,5 и 3,0 раза относительно контрольного варианта.

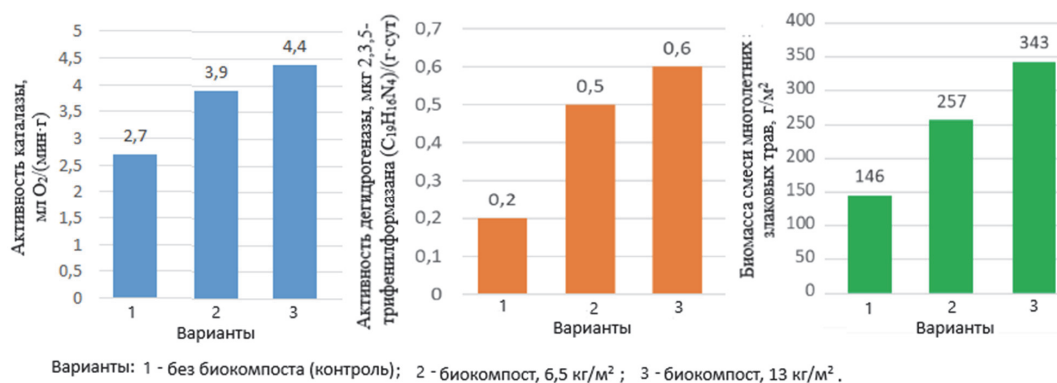


Рис. 1. Активность ферментов и биомасса смеси многолетних злаковых трав при рекультивации пирогенной почвы с помощью биокомпоста «Пикса» (Ставропольский край)

Биомасса смеси многолетних злаковых трав возростала с повышением дозы вносимого в почву биокомпоста, соответственно, в 1,8 и 2,3 раза относительно контрольного варианта.

Следовательно, применение биогеохимической технологии ремедиации пирогенной почвы на берме амбара *in situ* в Ставропольском крае позволило восстановить ее плодородие (повышение активности исследуемых ферментов и рост смеси многолетних злаковых трав). Это свидетельствует о восстановлении микробного звена биогеохимического круговорота. Эта технология может быть востребованной при восстановлении земель, подвергшихся возгоранию вследствие различных аварийных ситуаций, например в газовой промышленности.

2. Апробация биогеохимической технологии рекультивации почвы, загрязненной газовым конденсатом, *in situ* в Ставропольском крае

Биогеохимическая технология рекультивации почвы, загрязненной газовым конденсатом, *in situ* была апробирована на территории дожимной компрессорной станции (Ставропольский край) с черноземной тяжелосуглинистой почвой ($\text{pH}_{\text{сол.}}$ 7,1–7,3). Хроническое загрязнение данной почвы в результате поступления газового конденсата из «продувочной свечи» (вертикальной трубы с оголовком) выразилось как в постоянном ощущении специфического запаха бензиновых и керосиновых компонентов данного вещества, так и в полном отсутствии растительности на определенной площади вокруг «продувочной свечи» (рис. 2).



Рис. 2. Хроническое загрязнение черноземной почвы газовым конденсатом из «продувочной свечи» на территории дожимной компрессорной станции: 1 – фоновый участок с растительностью; 2 – участок, загрязненный газовым конденсатом и лишенный растительности, Ставропольский край (45°03' с.ш., 43°16' в.д.)

Для оценки процесса рекультивации почвы, загрязненной газовым конденсатом, выделяли делянки ($0,25 \text{ м}^2$), в которые после разрыхления почвы (слой 0–6 см) заделывали биокомпост «Пикса» в дозах 4 и 8 кг/м^2 и выращивали смесь многолетних злаковых трав (30 г семян на 1 м^2): мятлика лугового (*Poa pratensis*), овсяницы красной (*Festuca rubra*), полевицы белой (*Agrostis alba*) и др.

Контрольный вариант представлял собой делянку без внесения биокомпоста, но с посевом и выращиванием трав. Отбор проб почвы и растений на анализ производили на 42-е сутки. Эффективность рекультивации почвы, загрязненной газовым конденсатом, оценивали посредством определения активности ферментов каталазы и дегидрогеназы, а также биомассы смеси многолетних злаковых трав, согласно патентам РФ на изобретения: № 2387995; № 2387996].

Анализ содержания углеводов газового конденсата в поверхностном слое почвы (0–6 см), проведенный методом инфракрасной спектроскопии, показал неравномерный характер хронического загрязнения участка вокруг «продувочной свечи», т. е. на разных участках количество вещества колебалось в пределах 1,8–5,4 г/кг. Интересно отметить, что эти количества оказались одного порядка с содержанием углеводов, отмечаемым в почвах вокруг ряда автозаправочных станций (1,9–8,2 г/кг), что определяется состоянием динамического равновесия процессов испарения и сорбции веществ, зависящим от гидротермических условий. В целом это свидетельствует об идентичности техногенной нагрузки на окружающую среду двух различных источников высококипящих фракций углеводородов (газового конденсата, бензина и дизельного топлива).

При внесении в почву биокомпоста активность ферментов каталазы и дегидрогеназы повышалась соответственно в 1,9 и 2,4, в 5,8 и 8,9 раза по сравнению с контрольным вариантом (рис. 3).

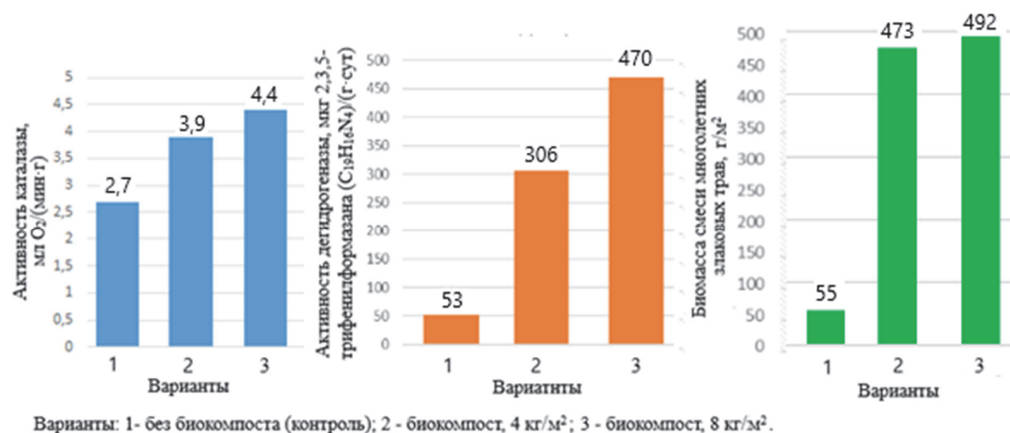


Рис. 3. Активность ферментов и биомасса смеси многолетних злаковых трав при рекультивации почвы, загрязненной газовым конденсатом, с помощью биокомпоста «Пикса» (Ставропольский край)

Активности каталазы и дегидрогеназы при внесении биокомпоста возрастали, что свидетельствует об эффективности ремедиации почвы, загрязненной газовым конденсатом, в разложении которого непосредственное участие принимают исследуемые ферменты.

Вес биомассы растений при внесении биокомпоста в дозах 4 и 8 кг/м² был существенно выше по сравнению с контролем. Происходит восстановление микробного блока и, как следствие, плодородия почвы и растительного покрова.

Применяемая биогеохимическая технология позволяет снизить эрозию почвы, а следовательно, избежать явной угрозы геологической устойчивости инженерно-технических сооружений газовой промышленности. При этом хроническое загрязнение почвы газовым конденсатом на участке вокруг «продувочной свечи» определяет необходимость осуществления постоянного наблюдения за состоянием травостоя, при изреживании которого необходимо возобновлять внесение биокомпоста, посев и выращивание смеси многолетних злаковых трав.

3. Апробация биогеохимической технологии нейтрализации шлама газового конденсата *in situ* в Ставропольском крае

Биогеохимическая технология нейтрализации была апробирована *in situ* при обезвреживании шлама газового конденсата, хранившегося в пруде-накопителе в одном из объектов газовой промышленности Ставропольского края. Пруд-накопитель представляет собой

объект повышенного риска из-за постоянного испарения токсических веществ с открытой поверхности в атмосферный воздух и возможности их случайного возгорания.

В целях апробации биогеохимической технологии нейтрализации отбирали пробы шлама газового конденсата из пруда-накопителя в пластиковые сосуды (объем 5 л) в 6-кратной повторности с последующим внесением в них биокомпоста «Пикса» в соотношении 1:1 и гомогенизацией полученной смеси. Сосуды инкубировали под навесом во избежание попадания в них атмосферных осадков, с периодическим перемешиванием содержимого (каждые 7 суток). Отбор проб шлама газового конденсата производили на 42-е сутки для анализа активности ферментов каталазы и дегидрогеназы, принимающих непосредственное участие в разложении углеводов.

Было установлено, что при добавлении биокомпоста «Пикса» в шлам газового конденсата даже в соотношении 1:1, активность ферментов как каталазы, так и дегидрогеназы сразу возрастала от нулевого значения, соответственно, до 3,3 мл O_2 /(мин·г) и 11,0 мг 2-, 3-, 5-трифенилформазана ($C_{19}H_{16}N_4$)/(г·сут). В данных условиях нейтрализации шлама газового конденсата четко проявился сопряженный характер действия ферментов по типу линейной функции, когда отщепляемый дегидрогеназой водород от молекул углеводов газового конденсата передается кислороду воздуха с образованием пероксида водорода, разложение которого осуществляет каталаза. Это подтверждает работоспособность микробиоценоза.

Таким образом, биогеохимические технологии рекультивации пирогенных и загрязненных углеводородами почв, а также нейтрализации углеводородных шламов, основу которой составляют способы, защищенные патентами Российской Федерации на изобретения, были успешно апробированы *in vitro* и *in situ* в основном на объектах газовой промышленности в других почвенно-климатических условиях страны (Ставропольский край). Показано восстановление биогеохимического круговорота в его микробном звене и плодородия нарушенных и загрязненных почв в импактных экосистемах.

Создание искусственных почв

Создание искусственных почв также основывается на применении биогеохимических технологий. Практика создания искусственных почв в России (СССР) имеет давнюю историю, включая создание почвенного покрова на промышленных отвалах (терриконах), строительных площадках, городских территориях и т.д. Эти технологии уже были использованы в 1980–1990-х гг. именно для создания искусственных почв в Объединенных Арабских Эмиратах и включали создание профиля почвы мощностью 50–70 см, состоящего из последовательных слоев песка, гравия, суглинка и плодородного слоя (15–20 см) из смеси верхового или низинного торфа, обогащенного питательными элементами и соответствующими гуминовыми препаратами и утяжеленного по механическому составу путем добавления глины и песка в различных соотношениях в зависимости от функционального использования территории. Необходимые условия для применения и обеспечения приживаемости искусственно созданных почв в странах Персидского залива заключаются, в частности, в подготовке местности (песчаных почв), фиксации плодородного слоя почвы в открытой местности, поддержании необходимой температуры и влажности создаваемых почв, сохранении почвенного микробиома, в защите от прямых солнечных лучей. Эти технологические приемы могут быть также отработаны, и их применимость зависит от конкретных условий, например от толщи песчаных отложений, или выбирается необходимый слой песка и формируется искусственная почва, или же, если поверхностные слои сложены глинами и суглинками, то в данном слое выбирается необходимая глубина для создания именно плодородного слоя. Фиксация же плодородного слоя, как правило, обеспечивается методами создания газонного покрытия, включая выращивание газонной смеси адаптированных к конкретным условиям растений и/или наложение рулонных газонов. Влажность почвы поддерживается с помо-

щью конструирования систем капельного орошения, что технологически хорошо отработано, защита от инсоляции — специальными пленками-покрытиями на первоначальный период или созданием рассеянного теневого растительного покрытия в последующие периоды. Тем не менее еще существуют нерешенные проблемы, связанные с ненадежностью технологий формирования водоудерживающего слоя. Как одно из технологических решений возможно формирование водоудерживающего слоя в профиле искусственных почв с применением сорбентов (слоистых минералов).

Следующим классом задач является создание антропоземов — искусственных почв для городских условий, в частности для Московского мегаполиса. Несмотря на многолетние научно-практические и производственные разработки, до сих пор существуют нерешенные проблемы: быстрая сработка почвенного слоя из-за воздействия выбросов автотранспорта, прежде всего оксидов азота. С применением биогеохимических технологических подходов решением могут быть разработка и применение консорциумов микроорганизмов, устойчивых к загрязнениям.

Близкой к возможности использования биогеохимических природоподобных технологий видится и задача создания искусственных почв на поверхности углетвалов, отвалов вскрышных пород карьеров, хвостохранилищ, шламовых амбаров. В данном случае неудачи предшествующих разработок по фиторемедиации и фиторекультивации связаны с наличием большой массы ЗВ, включая ТМ, ПАУ и СОЗ, а также с плохими водно-физическими свойствами. Необходим подбор различных органических и неорганических сорбентов для устранения вредного действия ЗВ, что требует разработки сорбционных биогеохимических технологий.

Инновационные биогеохимические технологии для реабилитации загрязненных и нарушенных экосистем

Биогеохимические технологии, представленные в табл. 3, регулируют работоспособность микробного звена биогеохимических круговоротов в различных импактных экосистемах.

Таблица 3

Биогеохимические технологии для управления нарушениями и загрязнениями в импактных экосистемах

Технология	Технологические принципы	Патенты/ссылки
Метод подготовки образцов для изотопного анализа азота	Оценка параметров микробной минерализации	Авторское свидетельство СССР, 1982, № 1043565
Метод определения азотминерализующей способности почв	Оценка минерализующей способности почв	Авторское свидетельство СССР, 1983 № 1206703
Метод оценки биodeградации пестицидов	Оценка восстановления нативной микрофлоры	Авторское свидетельство СССР, 1991, № 5005241
Метод оценки очищения почв от остатков пестицидов	Реабилитация загрязненных почв	Авторское свидетельство СССР, 1994, № 1836636
Метод прогнозирования поведения азота в агроэкосистемах	Оценка минерализующей способности почв	Авторское свидетельство СССР, 1995, № 1753415
Способ контроля очистки почв, загрязненных углеводородами, и нейтрализации углеводородных шламов посредством анализа активности каталазы	Реабилитация загрязненных почв	Патент РФ 2387995, зарегистрирован 27.04.2010
Способ контроля очистки почв, загрязненных углеводородами, и нейтрализации углеводородных шламов посредством анализа активности дегидрогеназы	Восстановление микробного звена биогеохимического круговорота при рекультивации загрязненных почв	Патент РФ 2387996, зарегистрирован 27.04.2010

Технология	Технологические принципы	Патенты/ссылки
Способ контроля эффективности рекультивации нарушенных тундровых почв различного гранулометрического состава посредством анализа активности дегидрогеназы	Восстановление микробного звена биогеохимического круговорота при рекультивации нарушенных тундровых почв	Патент РФ на изобретение № 2491137, зарегистрирован 27.08.2013
Способ оценки эффективности рекультивации посредством торфа нарушенных тундровых почв с различной полной влагоемкостью	Восстановление микробного звена биогеохимического круговорота при рекультивации нарушенных тундровых почв	Патент РФ на изобретение № 2611159, зарегистрирован 21.02.2017
Способ получения гумата калия из местных торфов Ямало-Ненецкого автономного округа	Восстановление микробного звена биогеохимического круговорота при рекультивации нарушенных тундровых почв	Патент РФ на изобретение № 2610956, зарегистрирован 17.02.2017
Способ оценки эффективности рекультивации нарушенных тундровых почв посредством внесения местного торфа и гумата калия	Восстановление микробного звена биогеохимического круговорота при рекультивации нарушенных тундровых почв	Патент РФ на изобретение № 2611165, зарегистрирован 21.02.2017
Способ диагностики хронического и аварийного загрязнения почв тяжелыми металлами посредством анализа активности фермента дегидрогеназы	Восстановление микробного звена биогеохимического круговорота при рекультивации загрязненных почв	Патент РФ на изобретение № 2617533, зарегистрирован 25.04.2017
Способ биохимического контроля эффективности рекультивации нарушенных и загрязненных тундровых почв	Восстановление микробного звена биогеохимического круговорота при рекультивации нарушенных тундровых почв	Патент РФ на изобретение № 2672490, зарегистрирован 15.11.2018
Способ идентификации источника и времени загрязнения окружающей среды и биологических субстратов человека пестицидом ДДТ в регионах Крайнего Севера	Восстановление микробного звена биогеохимического круговорота при рекультивации загрязненных почв	Патент РФ на изобретение № 2701554, зарегистрирован 30.09.2019
Способ идентификации микробного загрязнения водной среды посредством анализа активности фермента дегидрогеназы	Оценка восстановления нативной микрофлоры при загрязнении водных экосистем	Патент РФ на изобретение № 2735 756, зарегистрирован 06.11.2020

Список биогеохимических технологий, представленный в табл. 3 — далеко не исчерпывающий. Близкими являются различные технологические подходы, способствующие восстановлению нативной микрофлоры, например, при загрязнении агропочв тяжелыми металлами и нефтепродуктами [8], и другие приемы и методы, направленные на регулирование биогеохимической структуры экосистем в целом. Необходима дальнейшая разработка биогеохимических технологий, направленных на восстановление БГХ-циклов также и в агроэкосистемах, в первую очередь в микробном звене, регулирующем потоки поллютантов.

Совместимость биогеохимических технологий с производственными процессами

Проведение совместных научно-исследовательских работ с ООО «Газпром ВНИИГАЗ» и ООО «Газпром добыча Ямбург» выразилось в создании целого ряда инновационных биогеохимических технологий для рекультивации и диагностики как загрязненных, так и нарушенных почв (см. табл. 3).

При этом необходимо понимать, что эти технологии должны быть совместимы с другими технологиями и технологическими процессами, используемыми на газодобывающих предприятиях. Так, во всех проектах обустройства и реконструкции нефтегазоконденсатных месторождений представлен раздел оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), предусматривающий проведение мероприятий по снижению воздействия возводимых и эксплуатируемых газопромысловых объектов на окружающую среду. Предусматриваются и мероприятия по рекультивации нарушенных и загрязненных земель. Однако реализация плана ОВОС не всегда достигает поставленной цели, что может быть связано как с особенностями технологического объекта, так и с невыявленными параметрами импактных экосистем.

Следовательно, изучение и количественная параметризация закономерностей биогеохимической организованности в импактных экосистемах всегда должна базироваться на фундаментальных знаниях в рамках биогеохимического инжиниринга и, как правило, завершаться разработкой инновационных природоподобных биогеохимических технологий управления устойчивостью экосистем в зонах газодобычи. Именно такие технологии являются наиболее работоспособными в условиях полярных экосистем и должны использоваться в рамках разделов ОВОС при эксплуатации месторождений. Инновационный характер найденных решений подтверждается их патентной защитой.

Заключение

Полученные данные позволили разработать комплекс биогеохимических технологий, защищенных патентами РФ, применительно к восстановлению как загрязненных, так и нарушенных почв. Разработанные биогеохимические технологии являются адаптивными к природно-климатическим условиям Крайнего Севера, ныне характеризующимся усилением континентальности климата. Именно в таких условиях на территории Тазовского полуострова была апробирована *in vitro* и *in situ* и в настоящее время успешно реализуется биогеохимическая технология рекультивации тундровых почв, нарушенных вследствие добычи и транспортировки природного газа. При этом рекультивация тундровых почв способствует предотвращению их растепления и повышает инженерную устойчивость инфраструктурных объектов.

Аналогичным образом эти технологии применяются и в других почвенно-климатических условиях, их работоспособность показана, в частности, и в условиях импактных экосистем Ставропольского края.

В большинстве случаев эти инновационные природоподобные технологии можно использовать для создания информационных тест-моделей при планировании широкомасштабных рекультивационных работ как в районах Крайнего Севера, так и в других импактных регионах.

Работа выполнена в рамках темы Минобрнауки России: «Биогеохимические процессы трансформации минерального и органического вещества в почвах на различных стадиях эволюции биосферы и техносферы» – 121041500050-3.

Список литературы

1. Башкин В.Н. Инженерная биогеохимия и биогеохимические технологии // Инноватика и экспертиза. 2018. Вып. 2 (23). С. 140–144.
2. Попова А.Ю., Демина Ю.В., Ежлова Е.Б., Куличенко А.Н., Рязанова А.Г., Малеев В.В., Плоскирева А.А., Дятлов И.А., Тимофеев В.С., Нечепуренко Л.А., Харьков В.В. Вспышка сибирской язвы в Ямало-Ненецком автономном округе в 2016 году, эпидемиологические особенности // Проблемы особо опасных инфекций. 2016. Вып. 4. С. 42–46.
3. Башкин В.Н., Припутина И.В., Галиулина Р.А. Управление природными и экологическими рисками при усилении континентальности климата // Проблемы анализа риска. 2023. Т. 20. № 2. С. 68–85. URL: <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-2-68-85> (дата обращения: 23.04.2025).

4. Галишев М.А. Исследование пожарной опасности дисперсных систем // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2017. № 1 (22). С. 17–23.

5. Зайдельман Ф.Р., Романов С.В. Эколого-гидротермическая оценка пирогенно-измененных и дерново-пирогенных почв выработанных торфяных месторождений // Почвоведение. 2007. № 1. С. 93–105.

6. Тен Хак Мун, Имранова Е.Л., Кириенко О.А. Влияние пожара на микробный комплекс почвы // Почвоведение. 2003. № 3. С. 362–369.

7. Семенцов А.Ю., Антипов Б.В., Прохоров И.С., Мизгирев Н.С., Башкин В.Н. Применение суперкомпоста «Пикса» для очистки загрязненных нефтепродуктами почв // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2006. № 10. С. 14–18.

8. Bashkin V.N. Biogeochemical Engineering: Technologies for Managing Environmental Risks // Adv Environ Eng Res, 2022; 3(4): 040; DOI: 10.21926/aer.2204040.

References

1. Bashkin V.N. (2018) *Inzhenernaya biogeokhimiya i biogeokhimicheskie tekhnologii* [Engineering biogeochemistry and biogeochemical technologies] *Innovatika i ekspertiza* [Innovation and Expert Examination]. Moscow. Issue 2 (23), P. 140–144.

2. Popova A.Yu., Demina Yu.V., Ezhlova E.B., Kulichenko A.N., Ryazanova A.G., Maleev V.V., Ploskireva A.A., Dyatlov I.A., Timofeev V.S., Nechepurenko L.A., Kharkiv V.V. (2016) *Vspyshka sibirskoy yazvy v Yamalo-Nenetskom avtonomnom okruge v 2016 godu, epidemiologicheskie osobennosti* [Anthrax outbreak in the Yamalo-Nenets Autonomous District in 2016 epidemiological data of the Russian Federation] *Problemy osobo opasnykh infektsiy* [Problems of especially dangerous infections]. Issue 4. P. 42–46.

3. Bashkin V.N., Priputina I.V., Galiulina R.A. (2023) *Upravlenie prirodnykh i ekologicheskimi riskami pri uspenenii kontinentalnosti klimata* [Management of natural and environmental risks when climate continentality is enhanced]. Vol. 20. No. 2. P. 68–85. Available at: <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-2-68-85> (data of access: 23.04.2025).

4. Galishev M.A. (2017) *Issledovanie pozharnoy opasnosti dispersnykh sistem* [Investigation of fire hazard of dispersed systems] *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii* [Bulletin of the Voronezh Institute of GPS EMERCOM of Russia]. No. 1 (22). P. 17–23.

5. Zaidelman F.R., Romanov S.V. *Ekologo-gidrotermicheskaya otsenka pirogenno-izmenennykh i dernovo-pirogennykh pochv vyrabotannykh torfyanykh mestorozhdeniy* [Ecological and hydrothermal assessment of pyrogenically altered and sod-pyrogenic soils of developed peat deposits] *Pochvovedenie* [Soil Science] 2007. No. 1. P. 93–105.

6. Ten Hak Moon, Imranova E.L., Kirienko O.A. (2003) *Vliyanie pozhara na mikrobnyy kompleks pochvy* [Influence of fire on the microbial complex of the soil] *Pochvovedenie* [Soil Science]. No. 3. P. 362–369.

7. Sementsov A.Yu., Antipov B.V., Prokhorov I.S., Mizgirev N.S., Bashkin V.N. (2006) *Primenenie superkomposta «Piksa» dlya ochistki zagryaznennykh nefteproduktami pochv* [Application of the «Pix» supercompost for cleaning soils contaminated with petroleum products] *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse* [Environmental protection in the oil and gas industry]. No. 10, P. 14–18.

8. Bashkin V.N. (2022) Biogeochemical Engineering: Technologies for Managing Environmental Risks. Adv Environ Eng Res, 2022; 3(4): 040; DOI: 10.21926/aer.2204040.

ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ МЕДИЦИНСКИХ ПЕРЕВЯЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.А. Белов, профессор Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева, д-р техн. наук, belov.a.a@muctr.ru

Рецензент: И.С. Фадеева, ФГБУН «Институт теоретической и экспериментальной биофизики» Российской академии наук, канд. биол. наук, fadeeva.iteb@gmail.com

Создание ранозаживляющих препаратов на основе ферментов и других терапевтических агентов является актуальной задачей современной медицинской биотехнологии. Показано, что ферменты являются наиболее лабильными компонентами в разрабатываемых препаратах. В качестве носителя предложено использовать диальдегидцеллюлозу, стабилизирующее вещество хитозан и его производные.

С использованием различных физических и физико-химических методов анализа показано изменение основных физических и биохимических параметров, влияющих на процесс получения, хранения и использования производимых биологически активных медицинских перевязочных материалов. Полученные результаты могут использоваться при разработке и промышленном выпуске медицинских биологически активных перевязочных материалов.

Ключевые слова: биомедицина, иммобилизованные ферменты, протеазы, антиоксиданты, биоциды, хитозан, олигохиты, препараты для ранозаживления.

PROBLEMS OF CREATING BIOLOGICALLY ACTIVE MEDICAL DRESSINGS MATERIALS

A.A. Belov, Professor, D.I. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, Ph. D., belov.a.a@muctr.ru

The creation of wound healing drugs based on enzymes and other therapeutic agents is an urgent task of modern medical biotechnology. It has been shown that enzymes are the most labile components in the studied preparations. It is proposed to use dialdehyde cellulose, a stabilizing substance chitosan and its derivatives as a carrier.

Using various physical and physico-chemical methods of analysis, changes in the basic physical and biochemical parameters affecting the process of obtaining and using biologically active medical dressings materials are shown. The results obtained can be used in the development and industrial production of medical biologically active dressings materials.

Keywords: biomedicine, immobilized enzymes, proteases, antioxidants, biocides, chitosan, oligochites, preparations for wound healing.

Введение

Перевязочные материалы для лечения гнойно-некротических и ожоговых ран занимают значительное место среди медицинских изделий с терапевтическим эффектом. Подобные материалы применяются локально, что подразумевает направленное (целевое) действие активного вещества, способны ускорять процесс заживления и регенерации поврежденных тканей за счет препаратов, которые могут быть включены в эти композиции [1, 2].

Применение перевязочных материалов определяется избирательным воздействием введенных в них лекарственных средств, специфичностью их действия, характером патологического процесса. Для лечения гнойных ран показано применение иммобилизованных полиферментных препаратов протеаз в сочетании с различными терапевтическими средствами [2, 3].

Известен положительный эффект влияния антиоксидантов на заживление гнойных ран, ожогов, трофических язв и их предотвращение [2, 4, 5]. В настоящее время установлено, что возникновение и развитие широкого круга воспалительных заболеваний сопровождается активацией свободно-радикальных реакций (СРР) перекисного окисления липидов (ПОЛ), денатурации белков и нуклеиновых кислот. Образующиеся в клетке первичные радикалы могут инициировать вторичные свободно-радикальные реакции, вступая во взаимодействие с различными клеточными компонентами: белками, нуклеиновыми кислотами и липидами. В результате этих СРР происходит деградация молекул-мишеней с образованием более или менее стабильных продуктов реакций, идентификация и определение количества которых может быть параметром или маркером, определяющим скорость СРР. В настоящее время хорошо известно, что возникновение и развитие широкого круга различных заболеваний сопровождается активацией СРР. Не составляют исключения и процессы, протекающие при заживлении ран [6–9]. Широкое распространение синдрома активации СРР привело к тому, что в литературе появился термин «воспалительные заболевания, вызванные свободными радикалами» [10].

Процесс заживления ран, особенно стадия воспаления, идет в условиях активации СРР [11]. Гиперпродукция в ране свободных радикалов, снижение активности эндогенных антиоксидантов сдвигают существующее в норме равновесие в сторону ускорения СРР, что является патогенетическим обоснованием применения экзогенных ингибиторов СРР в качестве препаратов, способствующих быстрейшему заживлению раны. Имеется ряд сообщений об антиоксидантной терапии ран [11, 12].

С момента образования раневого дефекта отмечается существенное уменьшение активности сбалансированной эндогенной системы АО (антиоксидант). Нарушение регуляции свободно-радикальных процессов усугубляется в хронической ране, формирование которой может быть следствием нарушения венозного и артериального кровотока, метаболических нарушений (диабет), и/или иммунологических нарушений [4, 12–14]. Все хронические раны характеризуются незавершенным воспалением [12].

Современные раневые биологически активные покрытия должны обладать целым комплексом свойств [2, 6], обеспечивающих лечебный эффект на каждой стадии раневого процесса [15, 16]. Для создания таких материалов целесообразно использовать многокомпонентные композиции, составляющие которых или их сочетания обеспечивают достижение заданных свойств перевязочных материалов. Применение ферментсодержащих хитозановых композиций в качестве покрытий на рану позволит достичь комплексного результата – осуществить пролонгированную энзимотерапию, антимикробное воздействие и эффективное удаление некротических масс. Однако эти сообщения о современной тенденции создания биологически активных материалов для хирургии носят в основном предварительный характер. Многие исследования и разработки после их создания еще не вышли из стен лабораторий, а сами материалы не прошли токсикологические и медико-биологические исследования [2, 6, 17].

На российском рынке промышленных ферментов, особенно медицинского назначения, в настоящее время ощущается дефицит ферментов и ферментных препаратов [18]. Растительные цистеиновые протеазы являются легкодоступными, относительно дешевыми, промышленно выпускаемыми и широко применяемыми в медицине и косметологии ферментами. Главным их недостатком являются неустойчивость к воздействию денатурирующих факторов окружающей среды, они легко инактивируются при хранении и использовании, поэтому целесообразно их иммобилизовать в присутствии стабилизатора на матрице различных носителей [19, 20]. Иммобилизация должна приводить к увеличению термической

стабильности фермента, дать возможность осуществлять его адресную доставку, фиксацию в определенном участке организма. Основная проблема — потеря биологической активности при иммобилизации, хранении и в процессе использования [2, 21].

Несмотря на многие сложности в работе с иммобилизованными биологически активными соединениями, создание терапевтических повязок с включением различных терапевтических агентов (в том числе и ферментов) является очень перспективным и развивающимся направлением медицины. Возможность фиксации терапевтического агента на подходящем носителе позволяет уменьшить расход лекарственного препарата в 10–30 раз, предупреждая побочные реакции и снижая стоимость готовой продукции, что делает ее доступной для простого населения. Разрабатываемые материалы для лечения ран, содержащие антиоксиданты, биоциды и ферменты, длительное время (не менее 3 лет) должны сохранять свою биологическую активность, как антиоксидантную, так и протеолитическую, способствовать формированию грануляционной ткани и началу краевой эпителизации после первых суток применения, отличаться существенным уменьшением болевых ощущений за счет отсутствия адгезии материала на ране, пролонгированным действием и сокращением сроков заживления ран [2, 11, 19].

Одной из основных проблем в технологии производства медицинских материалов, содержащих биологически активные соединения для лечения ран различной этиологии, является потеря их биологической активности при изготовлении (иммобилизации), стерилизации, использовании и хранении препаратов. Обычно активность снижается при эксплуатации системы пациентами под воздействием температуры тела человека, pH раны, различных ингибиторов и т. д. [2, 21, 22].

Сложность производства подобных материалов состоит и в том, что разработчик должен обеспечить необходимое и контролируемое высвобождение активного соединения (терапевтического агента — ТА), одновременно сохраняя другие свойства ранозаживляющих композиций [2, 23]. Одним из таких свойств является биологическая активность, которая должна быть максимально реализована в ране, так как подобные биоматериалы являются одноразовыми инструментами с небольшим сроком действия [2, 21].

При разработке и изучении свойств ранозаживляющих препаратов биологическая активность терапевтической композиции обычно исследуется со стороны трех составляющих: протеолитической активности (способность препарата очищать рану от некротических и нежизнеспособных клеток, раневых экссудатов, гнойных детритов, сгустков крови), антиоксидантной активности (предупреждение развития свободно-радикальных реакций в процессе перекисного окисления липидов в очаге воспаления) и антибактериальных свойств (нейтрализация и сорбция микробных клеток, активация фагоцитов и макрофагов) [2, 5, 15, 16]. Очень остро стоит вопрос о минимальном и максимальном количестве единиц ферментативной, антиоксидантной и биоцидной активности на единицу изделия.

Сложность изучения лекарственных материалов, направленных на терапию гнойно-некротических ран, заключается и в том, что необходимо проанализировать не только изменение биологической активности каждого отдельного компонента ранозаживляющей композиции при иммобилизации, высушивании, хранении и применении терапевтического средства, но и влияние компонентов препарата друг на друга. Кроме того, при разработке многофункциональных терапевтических покрытий важно учитывать механизм работы активных веществ ранозаживляющей композиции, их возможность воздействовать на несколько мишеней воспаления одновременно, при этом обладая высокой специфичностью и обеспечивая должный фармакологический эффект [24].

Создание многоцелевых перевязочных лечебных материалов для ран и ожогов позволяет заменить прием нескольких средств, способствующих ранозаживлению, уменьшить нагрузку на организм человека за счет комплексной терапии и снизить риски возникновения осложнений при несовместимости с другими лекарственными веществами при раздельном

применении, поэтому исследование свойств и синтез материалов на основе различных полимеров с иммобилизованными ферментами, антиоксидантами и биоцидами является очень актуальной проблемой в современной медицине [1–3, 11, 19, 22, 23].

В настоящее время существует большое количество различных форм препаратов для лечения ран. Средства для ранозаживления преимущественно представляют собой перевязочные материалы (марлю, сетку, трикотаж, нетканый материал) с иммобилизованными терапевтическими агентами, а также порошки, пленки, губки, гидроколлоиды, гели, пасты и компанды из различных материалов [25–27], применяемые в зависимости от степени тяжести раневого поражения.

Определяющая роль в ранозаживлении принадлежит носителю, на котором иммобилизовано лекарственное средство. От него зависят скорость и полнота высвобождения действующего вещества в организме, степень терапевтической эффективности препарата [2, 12, 13].

Один из самых распространенных видов материалов для обработки раны основан на целлюлозе и ее производных [1, 4]. Она гидрофильна, имеет большое количество гидроксильных групп, поэтому легко подвергается активации. Модификация целлюлозы обеспечивает различные ее свойства. Материалы на основе перйодат-окисленной целлюлозы (диальдегидцеллюлоза-ДАЦ), содержащие различные терапевтические агенты, могут быть использованы в виде аппликаций, ваты, корпии или порошка, как перевязочные или косметологические средства для лечения и профилактики пролежней, гнойно-некротических, ожоговых и других ран. Для стерилизации иммобилизованных БАВ нами используется гамма-облучение в дозе 25 кГрей при 293 К. Разрабатываемые препараты являются раневыми покрытиями нового типа, они позволяют снизить лекарственную нагрузку (до 10–30 раз), сокращают сроки заживления ран в 1,5–2,0 раза, не вызывая аллергических реакций [2].

Цель данного исследования – выявление причин инактивации использованных ТА (в первую очередь ферментов) в процессе создания, хранения и использования биологически активных перевязочных медицинских материалов.

Материалы и методы

В работе использовали: хитозан (Хт) производства НПО «Биопрогресс» (г. Щелково, Московская область (МО), РФ) (влажность препарата 10 %, степень деацелирования 80,0 %; кинематическая вязкость не менее 383,7 сСт; молекулярная масса около 500 кДа); папаин (Пап) (Китай) 600 TU/mg (протеолитическая активность по казеину 0,4 ПЕ/мг; активность по ВАРНА 0,1 нМоль/мг·мин; активность по азоколу 20 ЕД/мг; L-цистеин – «Диаэм» (Швейцария), ХЧ; формальдегид – 37 % масс. водный раствор (Sigma – Aldrich, USA); ВАРНА – N-бензоил-DL-аргинин-п-нитроанилид (Acros organics, Lot A0307386); казеин по Гаммерстену (Sigma – Aldrich, USA); ДФПГ – 2,2-дифенил-1-пикрилгидразида DPPH (0.2 mMol/l) (производство – Aldrich) был приготовлен в 96 %-м этаноле.

Все остальные реактивы, если не оговорено особо, отечественного производства, квалификации не ниже ХЧ.

Спектры ИК получали на ИК Фурье-спектрометре Nicolet 380 (Thermo Scientific, США) методом НПВО (нарушенного полного внутреннего отражения) в диапазоне 550–4000 см⁻¹ на приставке, где в качестве оптического материала используется кристалл селенида цинка (ЦКП РХТУ им. Д.И. Менделеева).

УФ-вид измерения выполнялись с помощью регистрирующего спектрофотометра фирмы Shimadzu UV-2600 (Япония) в термостатируемой ячейке (ТСС-240А).

Дзета-потенциал и средний размер частиц были измерены на приборе Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments, Великобритания).

Ферментативные активности определяли аналогично [2, 22], используя в качестве субстрата либо казеин, либо азоколл, либо ВАРНА в 1/15М фосфатном буфере (ФБ) pH 8.0.

Для определения антиоксидантной активности (АОА) использовали реакцию со стабильным свободным радикалом 2,2-дифенил-1-пикрилгидразилом (ДФПГ) [19, 22].

Иммобилизацию на нерастворимые носители проводили аналогично [2].

Иммобилизацию в хитозан проводили, сливая растворы заданной концентрации Хт и ТА. Для получения препаратов в виде пленок раствор необходимого состава наносили пипетманом на чистую полиэтиленовую подложку и высушивали на воздухе, хранили в закрытом виде при комнатной температуре, в темноте. В специально проведенных опытах было установлено отсутствие влияния полиэтиленовой подложки на ферментативные активности использованных энзимов.

Поверхность препаратов исследовали с использованием микроскопа JSM JEOL 6510LV (JEOL, Япония). Подготовку образцов осуществляли путем нанесения на них слоя платины толщиной 10 нм на установке магнетронного напыления JFC-1600 (JEOL, Япония). Напыление проводили в вакууме (5 Па) при токе 30 мА и продолжительности 20 с. В качестве продувочного газа использовали аргон. Съемку образцов проводили в режиме вторичных электронов при ускоряющем напряжении 15 кВ.

Исследования по методу сканирующей электронной микроскопии выполнялись на оборудовании Центра коллективного пользования РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Образцы для АСМ были получены следующим образом: волокно расщеплялось на отдельные нити и закреплялось на сапфировой подложке с помощью двустороннего скотча.

Сканирование проводилось в нескольких местах и в разных масштабах, для того чтобы убедиться в показательности полученных АСМ-изображений. Для изучения характеристик поверхности целлюлозных волокон был использован атомно-силовой микроскоп Ntegra Prima (NT-MDT, Россия, г. Зеленоград), который был оснащен сканером и кремниевым кантелевером НА_NC Etalon (длина консоли 124 мкм, силовая константа 3,5 Н/м, резонансная частота 140 кГц). Радиус закругления иглы – менее 10 нм в соответствии с производственной спецификацией. Все изображения были получены на воздухе при комнатной температуре с относительной влажностью образцов менее чем 5%. Сканирование в режиме реального времени проводили со скоростью сканирования 1,0 Гц. Обработка полученных изображений проводилась с помощью программного комплекса NOVA и Image Analysis.

Экспериментальная часть

В предыдущих [2, 11, 19, 21, 22, 29] наших работах был обоснован выбор в качестве носителя ТА периодат-окисленной целлюлозы (ДАЦ) с иммобилизованным на ней хитозаном (Хт). Для выяснения возможных схем строения создаваемых препаратов на основе ДАЦ-Хт-ТА и их поведения в растворе (модель гнойной раны) в качестве моделей нами были взяты сами носители, ТА- и Хт-пленки, содержащие и не содержащие как индивидуальные ТА, так и их различные комбинации [30].

Химия полимерных лекарственных препаратов – интенсивно развивающаяся область науки, позволившая осуществить прорыв в лечении гнойных ран, наиболее опасных вирусных и онкологических заболеваний [2, 31]. В соответствии с классической теорией, предложенной Х. Рингсдорфом в середине 1980-х гг., физиологически активные полимеры (ФАП) прививочного типа можно синтезировать путем присоединения терапевтического агента (ТА) к полимеру-носителю гидролизуемой химической связью (рис. 1) – депо-препараты.

Причем в первоначально предложенной схеме носитель должен быть инертным. В современных депо-препаратах спейсер может отсутствовать, и ТА может быть напрямую иммобилизован на носителе. В качестве спейсера может быть использован какой-либо ТА или пролекарство (в нашем случае это ДАЦ и хитозан). И, по современным представлениям, создаваемый препарат может (должен) содержать не один, а несколько ТА [5, 7, 11]. В качестве носителя в данной работе использовалась ДАЦ, спейсера – хитозан, а ТА – ферменты (различные протеазы), биоциды (мирамистин) и антиоксиданты (мексидол, дигидрокверцетин). Ранее нами была показана необходимость использования спейсера при иммобилизации ферментов (наиболее лабильных ТА) на целлюлозу и особенно ее производные (ДАЦ) [2, 21, 30].

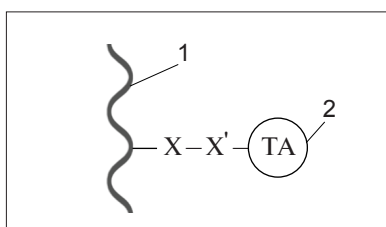


Рис. 1. Строение иммобилизованных препаратов (депо-препараты) по Х. Рингсдорфу

1 — полимер-носитель; 2 — терапевтический агент; X — ковалентная связь между полимером-носителем и спейсером; X' — химическая связь между спейсером и ТА

На рис. 2 приведены значения падения ферментативной активности (A/A_0) иммобилизованных на ДАЦ протеаз в процессе иммобилизации, высушивания и хранения.

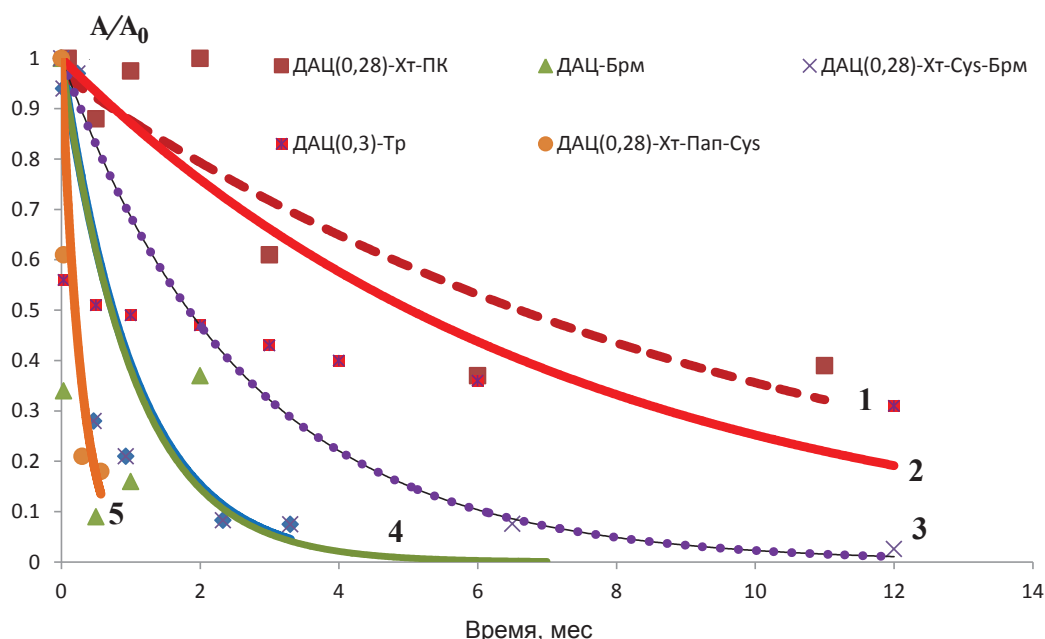


Рис. 2. Падение ферментативной активности (A/A_0) ряда протеаз в процессе хранения при комнатной температуре, в темноте (в скобках указано количество альдегидных групп мМ на грамм носителя)

1 — ДАЦ(0,28)-Хт-ПК — протеолитический комплекс из гепатопанкреаса краба, иммобилизованный на ДАЦ в присутствии хитозана; 2 — ДАЦ(0,3)-Тр — трипсин, иммобилизованный на ДАЦ; 3 — ДАЦ(0,28)-Хт-Сус-Брм — бромелаин, иммобилизованный на ДАЦ в присутствии хитозана и цистеина; 4 — ДАЦ(0,28)-Брм — бромелаин, иммобилизованный на ДАЦ; 5 — ДАЦ(0,28)-Хт-Пап-Сус — папаин, иммобилизованный на ДАЦ в присутствии хитозана и цистеина

Как было показано ранее [2, 23, 25, 26, 33] при иммобилизации протеаз на ДАЦ различной степени окисления в процессе высушивания и хранения происходит значительное падение ферментативной активности ферментов. Мы это связываем с отрицательным действием альдегидных групп матрицы (либо продуктами их трансформации в процессе получе-

ния, хранения, использования или стерилизации) на ферменты. Это может происходить из-за влияния самой матрицы или ее компонентов, а также продуктов гидролитической деструкции в процессе иммобилизации или использования. Чаще всего взаимодействие альдегидсодержащих фрагментов с белками мы подробно рассматривали с позиций взаимодействия альдегида и аминокрупп аминокислотных остатков белков [2]. Хотя, как было отмечено во многих работах, альдегиды вступают в реакцию не только с активным водородом аминокруппы белков, но и сульфгидрильных связей, гуаниновых и фенольных групп [32–34]. Альдегиды в водной среде легко вступают в реакцию с аминокруппами белков (аминокислотных остатков) по схеме, представленной на рис. 3.



Рис. 3. Образование оснований Шиффа

Как следует из полученных данных (см. рис. 2), для тиоловых протеаз (бромелаин и папаин) падение ферментативной активности более драматично по сравнению с другими. Мы это связываем в первую очередь с модификацией тиоловых групп активного центра и инактивацией активатора (цистеин). Как следует из данных литературы [19, 36], количество цистеиновых остатков в изученных нами ферментах отличается незначительно [7–12]. Тиоловая группа цистеина легко подвергается как окислению, так и другим модификациям альдегидами [34].

В литературе показано, что взаимодействие ДАЦ и Хт приводит к упорядочению структуры хитозана, и она выше, чем при использовании низкомолекулярных альдегидов. Можно предположить, что ввиду большого размера макромолекул диальдегидов окисленных полисахаридов их диффузия в объем образца хитозана затруднена, поэтому модификация структуры происходит преимущественно в поверхностном и приповерхностном слоях, т.е. в меньшей степени, чем это могло бы быть при проникновении ДАЦ в объем образца [37]. Известно, что в препаратах диальдегидцеллюлозы альдегидные группы образуют внутри- и межмолекулярные ацетальные и полуацетальные связи, а также находятся в гидратированной форме и в свободном виде. Так, например, в высушенном препарате диальдегидцеллюлозы около 75 % альдегидных групп находятся в виде ацеталей, а 25 % — в свободном виде или в виде полуацеталей [37–40]. Отмечена их высокая реакционная способность.

Как было установлено в работе [37], после взаимодействия Хт с низкомолекулярными альдегидами (формальдегид, ацетальдегид, глутаровый диальдегид) не остается доступных аминокрупп в молекуле Хт, а после взаимодействия Хт и ДАЦ остается 60–65 % свободных аминокрупп. Это было подтверждено и в наших работах [30].

На рис. 4 и 5 приведены данные, полученные методами атомно-силовой микроскопии и сканирующей электронной микроскопии соответственно. Анализ данных показал, что иммобилизация ТА происходит на поверхности волокна целлюлозы. Как видно из полученных данных, при перйодатном окислении на поверхности целлюлозы возникают каверны (трещины, разрывы), которые в процессе длительной гидролитической деструкции исчезают (см. рис. 5). Это может подтвердить выдвинутое нами предположение о переходе в раствор конгломератов, содержащих окисленные группы целлюлозы [2, 21, 30]. Причем увеличение степени окисления ДАЦ, рН и температуры раствора увеличивает скорость гидролитической деструкции [38].

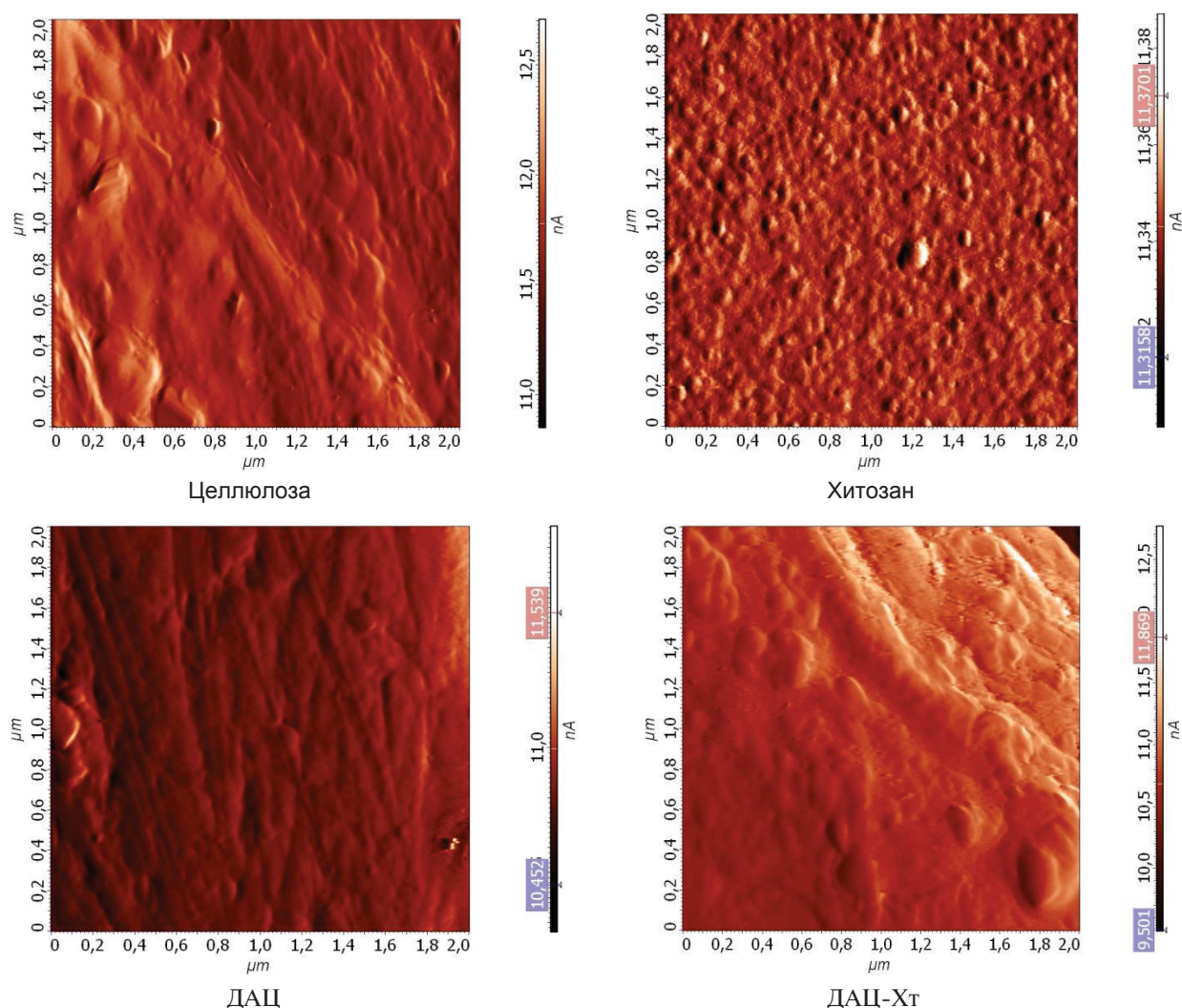


Рис. 4. Фотографии поверхности образцов, полученные методом атомно-силовой микроскопии

Альдегидные группы и ковалентно (химически) связанные с ДАЦ ТА распределены по макромолекуле неравномерно. При гидролитической деструкции производных ДАЦ в раствор переходят прежде всего участки с высокой концентрацией ТА – короткие олигомеры с 1–2 молекулами ТА. В дальнейшем в раствор переходят все более крупные олигомеры [2, 38].

Как видно из рис. 4, окисление целлюлозы приводит к уменьшению ребристости структуры, что, вероятно, вызвано отщеплением фрагментов в результате разрывов в структуре матрицы. Имобилизация хитозана на носитель делает поверхность ДАЦ более бугристой, размеры конгломератов хитозана на поверхности волокон целлюлозы достигают 400 нм.

Анализ строения целлюлозных волокон, полученных с помощью СЭМ, также показывает нарушение структуры нативной целлюлозы после периодатного окисления. Данный факт неоднократно обсуждался в литературе [38], и с ним, на наш взгляд, связано изменение санитарно-химических и механических свойств периодат-окисленной целлюлозы по сравнению с нативной целлюлозой [2]. Имобилизация Хт на поверхности целлюлозы идет с образованием различных конгломератов. Имобилизация на поверхности ДАЦ-Хт фермента ведет к появлению более упорядоченной структуры конгломератов.

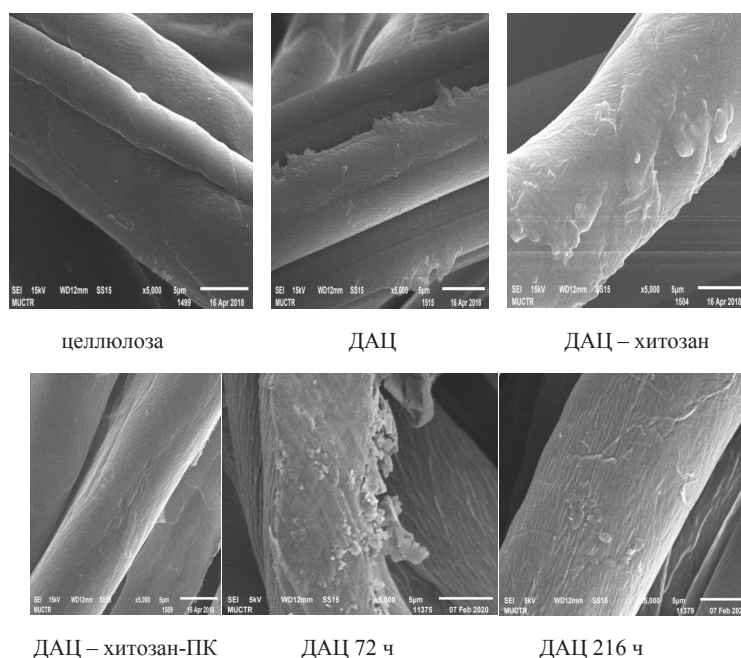


Рис. 5. СЭМ образцов ДАЦ (в скобках указано содержание альдегидных групп мМоль/г) при выдерживании в растворе 1/15М ФБ (рН 6,2 и 37°С)

В литературе и нами было показано, что в процессе гидролитической деструкции целлюлозы и ДАЦ в водной среде при физиологическом значении температуры и рН образуются различные соединения. Нами было показано [30], что продукты гидролитической деструкции ДАЦ обладают антиоксидантными и антимикробными свойствами. То есть ДАЦ сама является пролекарством. Для изучения гидролитической деструкции образцы целлюлозных носителей помещались в модельную среду 1/15М ФБ (рН 6.2 и 37°С) на определенные временные отрезки. Для детализации анализа был сделан широкий ряд спектров ДАЦ в течение 1, 2, 4, 6, 24, 48 ч. Полученные данные приведены на рис. 6.

Как видно из рис. 6, при помещении препаратов ДАЦ в модельную среду (1/15М ФБ рН 6.2 и 37°С) в растворе появляются различные соединения. Идет распад ДАЦ. Это, с одной стороны, является недостатком наших изделий (бустер-эффект – неконтролируемый выход иммобилизованных ТА), но, с другой стороны, эта «ударная доза» ТА и начинает терапевтическое действие (в том числе взаимодействие с различными тканевыми ингибиторами). Образование сильной химической (амидной) связи между ТА и Хт будет способствовать понижению растворимости Хт-конгломератов [30]. В литературе показано, что в композициях на основе Хт в процессе получения, высушивания и эксплуатации возможно образование различных внутренних амидных связей [30, 41].

Увеличение интенсивности плеча спектра в области 240 нм свидетельствует о выделении в систему значимого количества осколков матрицы носителя, содержащих карбонильные группы [42], а образование и последующая интенсификация пика на 240 нм соответствуют енольным формам дикарбоновых соединений [30].

Нами было проведено исследование влияния продуктов гидролитической деструкции исследованных полисахаридных носителей, мономерных звеньев и формальдегида на протеолитическую активность различных ферментов, входящих в состав ранозаживляющей композиции. На рис. 7 и 8 в качестве примера использован папаин. На рис. 7 по оси Х отложена молярная концентрация формальдегида (мМолей в литре). На рис. 8 по оси Х отложена

теоретическая концентрация мкМ альдегидных групп, выделившихся с ДАЦ (расчет максимальной концентрации альдегидных групп: навеска ДАЦ, содержащая 0,6 мМ альдегидных групп на 1 г ДАЦ, заливалась ФБ 6,2, выдерживалась в термостате 37°C 24 ч, к раствору фермента добавляли разные аликвоты).

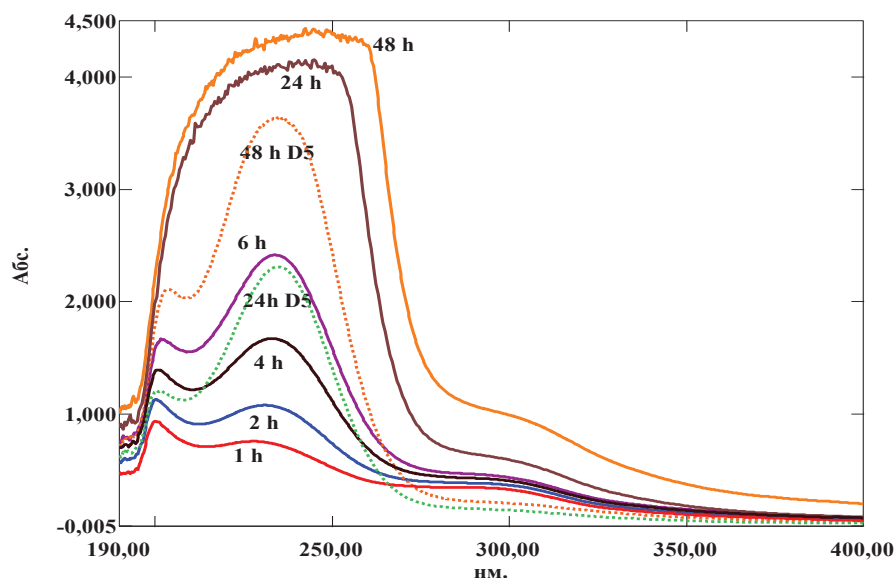


Рис. 6. УФ-вид спектры раствора 1/15М ФБ, в который была помещена ДАЦ (0,6) (вытяжек) при 37°C на определенное время. D5 – первоначальный раствор был разбавлен в 5 раз

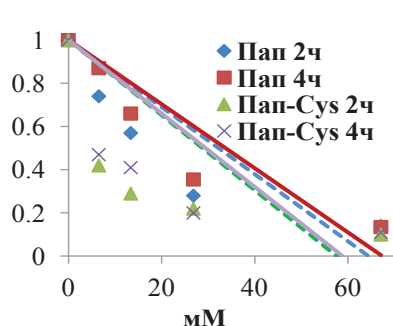


Рис. 7. Действие растворов формальдегида (A/Ao) на протеолитическую активность растворов папаина в присутствии и без цистеина в 1/15М ФБ 6,2

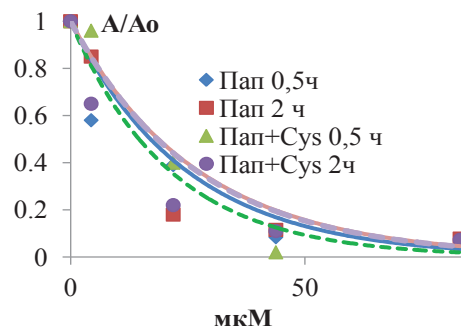


Рис. 8. Действие вытяжек ДАЦ (0,6) (37°C, 24 ч) на протеолитическую активность растворов папаина в присутствии и без цистеина в 1/15М ФБ 6,2; 0,5 и 2 ч время взаимодействия Пап с альдегидом

Добавление Хт в систему стабилизирует ферменты от инактивации, что может быть обусловлено образованием межмолекулярных связей без затрагивания активного центра.

Анализируя полученные экспериментальные данные (часть их представлена на рис. 6, 7, 8): на рис. 9 показано предположительное строение получаемых нами препаратов на основе целлюлозы, хитозана и различных терапевтических агентов.

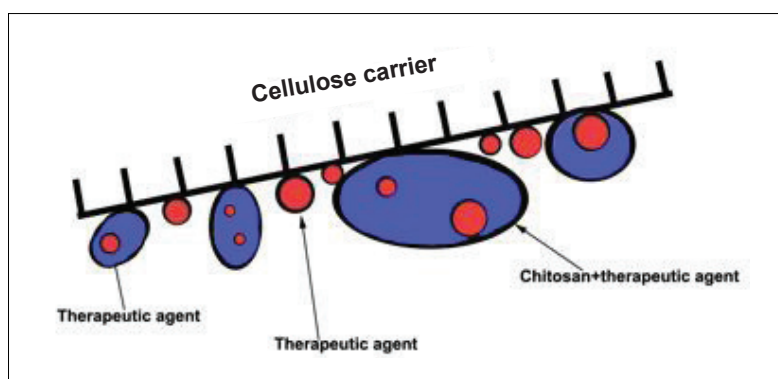


Рис. 9. Структура композиционных материалов ДАЦ-Хт-ТА

Как нами было установлено, даже при иммобилизации хитозанового геля, содержащего тот или иной терапевтический агент, последний может связываться непосредственно с носителем. Это отражается и на константах скорости инактивации при хранении, и также была показана убыль ТА из геля (при иммобилизации геля падение биологической активности в геле после иммобилизации, при сохранении биологической активности контрольного раствора геля).

Подобная схема (см. рис. 9) обладает рядом достоинств, среди которых: возможность совместной иммобилизации соединений, казалось бы, «несовместимых» из-за аннигиляции свойств друг друга (протеиназы и белки, например, инсулин), постепенный выход лекарственного средства в рану за счет неравномерной и продолжительной деструкции комплексного носителя (хитозанового геля и окисленной целлюлозной матрицы), что обеспечивает пролонгированное действие препарата, сокращение медикаментозной дозы лекарственного средства вследствие постоянного поступления активного вещества в место повреждения [2, 21]. Таким образом, можно говорить о возможности создания препарата для ранозаживления с заранее заданными свойствами, о способности прогнозировать выход лекарственного средства в рану и разработке материала разной сложности с разнообразным количеством лечебных компонентов для более полного и комплексного подхода к лечению ран разной природы и на разных стадиях раневого процесса.

В первой фазе раневого процесса патогенетически обоснованно применение тех или иных протеолитических ферментов, которые ускоряют очищение раны от гнойно-некротического содержимого и способствуют более раннему появлению грануляций и эпителизации, во второй фазе этого процесса угнетение активности протеолитических ферментов в ране с помощью ингибиторов является патогенетически обоснованным, стимулирующим процессы регенерации в ране, в несколько раз сокращающим сроки заживления [2].

Как было установлено во Всероссийском научно-исследовательском и испытательном институте медицинской техники (ВНИИИМТ), наши перевязочные материалы на основе целлюлозы и содержащие разнообразные ТА [2, 11, 29, 43], в том числе поливалентный ингибитор протеаз, ферменты и разнообразные ферментные комплексы, показали отсутствие цитотоксического эффекта (на половых клетках крупного рогатого скота) и гемолитическую активность экстрактов из материалов и изделий. Санитарно-химические испытания экстрактов из наших текстильных материалов показали их химическую стабильность (исследовали рН водной вытяжки, содержание восстановительных примесей, органических соединений).

В качестве примера ниже приведена часть полученных нами данных, в основном для самих носителей и иммобилизованных на них моноферментных препаратов. Основная часть данных представлена в работах [2, 11, 43].

Результаты санитарно-химических испытаний

Содержание в водных вытяжках из образцов материалов-носителей (стандартная марля, марля, окисленная перйодатом натрия, марля трикотажная, хлопчатобумажное волокно) восстановительных примесей, выраженное в объеме 0.02 н. раствора тиосульфата натрия, затраченного на их определение, составляло от 0.20 до 0.80 мл (допустимое – 1.00 мл). Изменение рН вытяжек в сравнении с контролем составляло от 0.12 до 0.85 (допустимое ± 1.00); рН вытяжек составляло от 5.06 до 6.24 (допустимое 3.0–9.0). Максимальная оптическая плотность в интервале длин волн 220–360 нм составляла от 0.088 до 0.140 (допустимое – 0.300).

Таким образом, результаты санитарно-химических испытаний позволяют отнести указанные материалы к химически достаточно стабильным.

Таблица 1

Масса тела и весовые коэффициенты внутренних органов мышей в остром эксперименте при внутрибрюшинном введении вытяжек из материалов-носителей и вытяжек из дальцекс-трипсина ($M \pm m$)

Показатели	ДАЦ				ДАЦ-Тр			
	самцы		самки		самцы		самки	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
Масса тела	26.390 $\pm$ 0.929	28.064 $\pm$ 0.688	27.007 $\pm$ 0.859	27.997 $\pm$ 0.612	28.417 $\pm$ 0.711	27.960 $\pm$ 0.810	29.208 $\pm$ 1.027	27.630 $\pm$ 0.766
Внутренние органы:								
Печень	59.282 $\pm$ 2.262	62.999 $\pm$ 2.145	132.056 $\pm$ 54.837	72.079 $\pm$ 2.64	67.013 $\pm$ 1.495	67.771 $\pm$ 1.712	56.861 $\pm$ 1.686	59.483 $\pm$ 1.875
Селезенка	6.521 $\pm$ 0.860	7.353 $\pm$ 0.99	14.677 $\pm$ 2.60	13.012 $\pm$ 1.23	11.860 $\pm$ 0.824	12.950 $\pm$ 1.254	7.169 $\pm$ 1.216	7.441 $\pm$ 0.719
Почки	15.404 $\pm$ 0.382	15.297 $\pm$ 0.339	13.737 $\pm$ 0.930	12.535 $\pm$ 0.390	12.612 $\pm$ 0.550	12.612 $\pm$ 0.389	14.927 $\pm$ 0.478	15.034 $\pm$ 0.272

Цитотоксическое действие активированных носителей и препаратов на их основе изучали по тесту выживаемости клеток в культуре клеток линии Hela.

Метод

Приготовление вытяжек из образцов с дальцекс-трипсином проводили в среде «Игла» в течение 7 суток при температуре 37°C. Соотношение образца и объема жидкости (питательной среды) составляло 1 см²:1 мл. Длительность обработки клеток экстрактом – 24 часа.

Эксперименты проводили на культуре клеток линии Hela, растущих в монослое, в стадии логарифмического роста. Для этого суспензию одиночных клеток высевали в чашки Карреля в концентрации 200.000 клеток/чашка и инкубировали в течение 3 суток. На третьи сутки культивирования питательную среду заменяли экстрактом и оставляли на 24 часа при температуре 37°C. После окончания экспозиции монослой клеток Hela трипсинизировали, разводили в свежей питательной среде и высевали в концентрации 200.000 клеток в новые чашки Карреля. Через 4 суток инкубации культуру снимали со стекла, определяли коэффициент прироста популяции: отношение количества выросших клеток к числу посеянных. Величина коэффициента прироста является хорошим показателем цитотоксического действия любого повреждающего агента, так как гибель клеток всегда сопровождается снижением коэффициента прироста.

Результаты экспериментов (табл. 2) показывают, что цитотоксический эффект не наблюдается при воздействии экстрактов из образцов с ДАЦ-Тр.

Таблица 2

**Показатели крови у крыс в хроническом эксперименте при подкожном введении
вытяжек после восстановительного периода, (M±m)**

Показатели крови	самцы			самки		
	фон	контроль	опыт	фон	контроль	опыт
Лейкоциты, 10^9 /л	11.1±1.1	18.9±0.9	19±1.4	12.9±1.2	17±1.3	17±1.0
Эритроциты, 10^{12} /л	8.5±0.5	9±0.3	9±0.3	7.6±0.2	9±0.2	9±0.1
Гемоглобин г/л	130±0.9	144±5.0	150±5.3	130±13	137±2.6	140±2.9
Белок сыворотки %	8.2±0.6	8.6±0.1	8.4±0.09	8.1±0.2	8.7±0.1	9.0±0.2
Белковые фракции сыворотки %:						
Альбумины	44±1.2	36±1.1	39±2.4	44±1.9	37±1.9	37±1.1
α-1-глобулины	14±0.7	18±0.9	18±0.9	16±1.2	16±0.7	15±0.5
α-2-глобулины	9±0.8	9±0.5	9±0.5	10±0.4	9±0.9	9±0.5
β-глобулины	24±0.7	24±0.9	22±1.6	23±0.5	25±0.6	26±0.8
γ-глобулины	9±1.3	13±0.7	12±1.5	7±0.08	13±1.2	13±0.5
Глюкоза, ммоль/л	27.0±0.1	26±2.5	25±5.1	27±0.3	26±3.3	27±1.3
Холестерин, ммоль/л	4.25±0.2	4.0±0.7	4.7±0.3	4.2±0.2	4.0±0.4	4.1±0.4
ТГ, ммоль/л	2.6±0.06	2.8±0.4	2.4±0.4	1.7±0.07	1.9±0.2	2.0±0.2
Билирубин, мкмоль/л	2.3±0.2	2.4±1.1	2.3±1.9	2.0±0.8	2.8±0.9	3.2±0.3
СМ, Е	0.200±0.006	0.222±0.004	0.240±0.06	0.200±0.06	0.244±0.004	0.235±0.003
Мочевина, ммоль/л	12±0.85	14±2.6	15±1.1	15±1.7	12±1.6	13±3.4
Креатин, мкмоль/л	192±5.1	226±3.0	220±4.4	—	257±8.2	256±5.7
АЛТ, Е/л	53±3.3	63±3.1	61±6.5	63±1.0	70±8.2	68±3.7
АСТ, Е/л	200±1.0	168±15	160±6.6	218±10.8	217±8.9	200±6.1
ГГТ, Е/л	2.9±0.5	2.4±0.4	2.2±0.7	2.4±0.2	2.2±1.2	2.5±1.1
ЩФ, Е/л	380±0.5	390±28	378±32	371±11	392±70	382±48
ЛДГ, Е/л	1513±347	1940±217	1799±211	1929±213	2383±87	2189±97

Таблица 3

**Цитотоксическое действие активированных носителей и препаратов
на их основе по тесту выживаемости клеток в культуре ткани**

Название материала	Закисленность среды	Морфологические особенности роста культуры	Коэффициент прироста
Контроль	Среда физиологическая рН 7,2	Активная пролиферация, хороший монослой, клетки компактные, нормального вида	7,1±0,64
ДАЦ-Тр	Среда слегка подкисленная рН 6,0-6,5	Активная пролиферация, хороший монослой, клетки компактные, нормального вида	7,2±0,42

Таблица 4

Сравнение иммобилизованных препаратов для лечения ран

№ п/п	Группа животных, лечение	Количество животных, n	Очищение ран, сутки	Заживление ран, сутки
1	Контроль 1, без лечения	20	14,2±0,35	27,3±0,15
2	Контроль 2, диальдегидцеллюлоза	20	13,3±0,6	24,2±0,5
3	Группа 1, аппликация «ДАЦ-Тр»	20	4,8±0,4	16,2±0,3
4	Группа 2, аппликация «ДАЦ-Хт-ПК»	20	3,0±0,2	12,1±0,1

Аналогичные результаты получены для всех разработанных изделий. Получено положительное токсикологическое заключение на препарат ДАЦ-Хт-ПК.

Заключение

Показана возможность получения медицинских перевязочных материалов, содержащих различные биологически активные компоненты (в том числе ферменты) и сохраняющих свою биологическую активность в течение заданного срока в высушенном виде.

Результаты лечения экспериментальных животных с гнойными ранами новыми перевязочными материалами с протеолитической, антиоксидантной и антимикробной активностями продемонстрировали, что скорость заживления ран зависит не только от носителя, на котором иммобилизован терапевтический агент, но и от его происхождения. Это хорошо подтверждается клиническими наблюдениями. Применение ДАЦ замедляло очищение от гнойных и некротических масс и заживление ран в среднем на одни сутки по сравнению с группой, в которой раны покрывались ДАЦ-трипсином. Однако, полное заживление ран в этих группах наступало гораздо быстрее, чем в первой контрольной группе, заживление в которой происходило спонтанно ($P < 0,05$). Независимо от химических природных перевязочных материалов (раневых покрытий) во всех группах животных раны до лечения характеризовались выраженной воспалительной реакцией, наличием гнойно-некротического экссудата в области дна ран, края и окружающие их ткани были отечны. На третьи сутки лечения комплексными препаратами воспалительные явления были выражены слабее, чем в группах животных, где применялись только монопрепараты.

Список литературы

1. Луканина К.И. Разработка научных и технологических основ создания перевязочных средств из биодеструктируемых и биосовместимых волокнистых материалов на основе полилактида / автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2011. С. 24.
2. Белов А.А. Разработка промышленных технологий получения новых медицинских материалов на основе модифицированных волокнообразующих полимеров, содержащих биологически активные белковые вещества / дисс. ... д-ра техн. наук. М.: ПХТУ, 2009. 385 с.
3. Antimicrobial Dressings. The Wound Care Applications // Edited by Raju Khan and Sorna Gowri. Academic Press. 2023. P. 270.
4. Grisham M.B. Oxidants and free radicals in inflammatory bowel disease // Lancet. 1994. Vol. 344. P. 859–862.
5. Halliwell B. Free radicals, antioxidants, and human disease: curiosity, cause, or consequence? // Lancet. 1994. Vol. 344. P. 721–725.
6. Foschi D., Trabucchi E., Muzzati M., et al. The effects of oxygen free radicals on wound healing // Int. J Tissue React. 1988. V. 10. № 6. P. 373–379.
7. Arisawa S., Arisawa T., Ohashi N., et al. Effect of the hydroxyl radical on fibroblast-mediated collagen remodelling in vitro // Clin. Exp. Pharmacol. Physiol. 1996. V. 23. № 3. P. 222–228.
8. Осипов А.Н., Азизова О.А., Владимиров Ю.А. Активные формы кислорода и их роль в организме // Успехи биол. химии. 1990. Т. 31. С. 180–208.
9. Csilla K., Hallberg, Stefan D., Trocme, and Nassen H., Ansari / Acceleration of corneal wound healing in diabetic rats by antioxidant Trolox // Res Commun Mol Pathol Pharmacol. 1996. V. 93. № 1. P. 3–12.
10. Harman D. Free radical theory of aging: the free radical diseases // Age. 1984. V. 7. № 1. P. 111–137.
11. Медушева Е.О. Разработка, экспериментальное обоснование и внедрение в хирургическую практику раневых покрытий с комплексным некротическим, антимикробным и антиоксидантным действием (экспериментальное исследование) / дисс. ... д-ра мед. наук. М., 2004. 389 с.
12. Камаев М.Ф. Лечение ран антиоксидантами // Хирургия. 1975. № 4. С. 52–54.
13. Клебанов Г.И., Владимиров Ю.А. Клеточные механизмы прайминга и активации фагоцитов // Успехи соврем. биол. 1999. Т. 119. № 5. С. 462–475.

14. Gorturk E., Turgut A., Baum C., Gunal I., Seber S., Gulbas Z. Oxygen-free radicals impair fracture healing in rats // *Acta orthop. Scand.* 1995. V. 66. № 5. P. 473–475.
15. Palamand S., Reed A.M., Weimann L.J. Testing intelligent wound dressings // *J. Biomater. Appl.* 1992. 6. P. 198–215.
16. Latba B., Ramakrishnan M., Jayaraman V., Babu M. The efficacy of trypsin:chymotrypsin preparation in the reduction of oxidative damage during burn injury // *Burns.* 1998. V. 24. № 6. P. 532–538.
17. Kas H.S. Chitosan: properties, preparation and application to microparticulate systems. Review // *J. Microencaps.* 1997. V. 14. № 6. P. 689–711.
18. Рынок ферментов в России – 2025. Показатели и прогнозы. URL: <https://bsmarket.ru/rynok-fermentov-vossii?yclid=10333875373291339775?print=1> (дата обращения: 14.04.2025).
19. Матиев О.В., Быкова А.А., Белов А.А. Синтез и исследование свойств композиционных материалов на основе целлюлозы и хитозана, содержащих различные терапевтические агенты. Часть 7. Влияние альдегидсодержащих веществ на сохранение ферментативных активностей цистеиновых полиферментных препаратов в процессе получения, хранения и эксплуатации // *Бутлеровские сообщения.* 2025. Т. 81. № 3. С. 89–101. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-81-3-89.
20. Antonello Mameli, Valentino Natoli, Cinzia Casu. Bromelain: an Overview of Applications in Medicine and Dentistry // *Biointerface research in applied chemistry.* 2021. Vol. 11. Issue 1. P. 8165–8170. URL: <https://doi.org/10.33263/BRIAC111.81658170> (дата обращения: 14.04.2025).
21. Dosadina E.E., Savelyeva E.E., Belov A.A. The effect of immobilization, drying and storage on the activity of proteinases immobilized on modified cellulose and chitosan // *Process Biochemistry.* 2018. 64. 213–220.
22. Ванюшенкова А.А., Шокодько М.И., Кушнерев К.С. и др. Использование наночастиц серебра и протеаз при создании новых биомедицинских материалов для ранозаживления // *Хим. пром. сегодня.* 2023. № 1. С. 14–23. DOI: 10.53884/27132854_2023_1_14
23. Vernikovskii B.V., Stepanova, E.F. Immobilized proteases for wound cleaning // *Russ. J. Gen. Chem.* 2012. 82. 572–578.
24. Serkov I.V. Synthesis and properties of biologically active compounds containing NO-donor fragment / abstract of dissertation for the degree of Doctor of Chemical Sciences. Chernogolovka, 2010. P. 50. Treatment strategies // *Mol Med.* 2011. 17. 113–125.
25. Gauglitz G.G., Korting H.C., Pavicic T., et al. Hypertrophic scarring and keloids: pathomechanisms and current and emerging treatment strategies // *Mol Med.* 2011.17, 113–125.
26. Han S.-K. Interactive Wound Dressings // *Innovations and Advances in Wound Healing.* 2016. 5. 39–61.
27. Diomina N.B. Modern trends in development of the technology of matrix drug dosage forms with modified release (a review) // *Chem.-Pharm. J.* 2016. 50 (7). 44–50.
28. Mogosanu G.D., Grumezescu, A.M., Bejenaru L.E., Bejenaru C. Natural and synthetic polymers for drug delivery and targeting, in: / Grumezescu A.M. (Ed.), *Nanobiomaterials in Drug Delivery. Applications of Nanobiomaterials.* 2016. Vol. 9. Elsevier, New York. P. 229–284.
29. Белов А.А., Ванюшенкова А.А., Досадина Э.Э., Ханафина А.А. Новые текстильные перевязочные материалы на основе биodeградируемых полимеров, содержащих протеиназы, для лечения ран и ожогов // *Раны и раневые инфекции. Журнал им. проф. Б. М. Костюченка.* 2018. 5 (1). С. 16–26.
30. Ванюшенкова А.А., Досадина Э.Э., Белов А.А. и др. Синтез и исследование свойств композиционных материалов на основе целлюлозы и хитозана, содержащих различные терапевтические агенты. Часть 2. Влияние хитозана на деструкцию целлюлозных носителей и кинетику выхода терапевтического агента в модельной среде // *Бутлеровские сообщения.* 2019. Т. 57. № 3. С. 105–119. ROI: jbc-01/19-57-3-105.
31. Круппа И.С. Полисахаридные полимеры-носители для физиологически активных нафталидегидов / дисс. канд. хим. наук. М.: ПХТУ, 2017. С. 137.
32. Pravina Piste Cysteine – master antioxidant // *International Journal of Pharmaceutical, Chemical and Biological Sciences.* 2013. 3 (1). P. 143–149.

33. Clare L. Hawkins, X Michael J. Davies Detection. Identification, and quantification of oxidative protein modifications // J. Biol. Chem. 2019. 294 (51). P. 19683–19708. DOI: 10.1074/jbc.REV119.006217.
34. Jos J.A.G. Kamps, Richard J. Hopkinson, Christopher J. Schofield & Timothy D.W. Claridge How formaldehyde reacts with amino acids // Communications Chemistry. 2019-2. P. 126. URL: <https://doi.org/10.1038/s42004-019-0224-2> (дата обращения: 14.04.2025).
35. Bromelain: An overview of industrial application and purification strategies // Applied Microbiology and Biotechnology. June 2014. DOI: 10.1007/s00253-014-5889.
36. Мосолов В.В. Протеолитические ферменты. М.: Наука, 1971. 404 с.
37. Чернышова Е.Б. Модификация пленочных материалов на основе хитозана низкомолекулярными и полимерными альдегидами / дисс. ... канд. хим. наук. Волгоград, 2018. 113 с.
38. Роговин З.А. Химия целлюлозы. М.: Химия, 1972. С. 125–244.
39. Kim U.-J., Kim H.J., Choi J.W., Kimura S., Wada M. Cellulose-chitosan beads crosslinked by dialdehyde cellulose // Cellulose. 2017. Vol. 24. P. 5517–5528.
40. Song L., Cruz C., Farrah S.R., Baney R.H. Novel antiviral activity of dialdehyde starch // Electronic Journal of Biotechnology. 2009. V. 12. № 2. P. 1–5.
41. Нудьга Л.А., Петрова В.А., Гофман И.В. и др. Химические и структурные превращения в хитозановых пленках в процессе хранения // ЖПХ. 2008. Т. 81. Вып. 11. С. 1877–1881.
42. Singh M., Ray A.R., Vasudevan P., Verma K., Guha S.K. Potential biosoluble carriers // Biomaterials. 1979. Vol. 7. Is. 4. P. 495–512. URL: <https://doi.org/10.3109/10731197909118964> (дата обращения: 14.04.2025).
43. Белов А.А. Текстильные материалы, содержащие иммобилизованные гидролазы для медицинских и косметологических целей. Получение. Свойства. Применение // LAP LAMBERT Acad. Pub., GmbH & Co. KG, Germany, 2012. 242 с.

References

1. Lukanina K.I. (2011) *Razrabotka nauchnykh i tekhnologicheskikh osnov sozdaniya perevyazochnykh sredstv iz biodestruktiruemykh i biosovmestimyykh voloknistykh materialov na osnove polilaktida* [Development of scientific and technological bases for the creation of dressings from biodegradable and biocompatible fibrous materials based on polylactide] *Avto-ref. diss. ...kand. tekhn. nauk* [Author's abstract of diss. for a Doctor in Engineering]. Moscow. 2011. P. 24.
2. Belov A. (2009) *Razrabotka promyshlennykh tekhnologiy polucheniya novykh meditsinskikh materialov na osnove modifitsirovannykh voloknoobrazuyushchikh polimerov, sodержashchikh biologicheski aktivnye belkovye veshchestva* [Development of industrial technologies for obtaining new medical materials based on modified fiber-forming polymers containing biologically active protein substances] *Diss....d-ra tekhn. nauk. RKhTUA* [Diss. for a Ph.D. in Engineering. RUCTU]. Moscow. 385 p.
3. Antimicrobial Dressings. The Wound Care Applications. Edited by Raju Khan and Sorna Gowri, Academic Press. 2023. P. 270.
4. Grisham M.B. (1994) Oxidants and free radicals in inflammatory bowel disease. *Lancet*. Vol. 344. P. 859–862.
5. Halliwell B. (1994) Free radicals, antioxidants, and human disease: curiosity, cause, or consequence? *Lancet*. Vol. 344. P. 721–725.
6. Foschi D., Trabucchi E., Muzzati M. et al (1988) The effects of oxygen free radicals on wound healing. *Int. J Tissue React*. V. 10. No. 6. P. 373–379.
7. Arisawa S., Arisawa T., Ohashi N et al (1996) Effect of the hydroxyl radical on fibroblast-mediated collagen remodeling in vitro. *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol*. V. 23. N 3. P. 222–228.
8. Osipov A.N., Azizova O.A., Vladimirov Yu.A. (1990) *Aktivnye formy kisloroda i ikh rol' v organizme* [Reactive oxygen species and their role in the body] *Uspekhi biol. khimii* [Uspekhi biol. chemistry]. V. 31. P. 180–208.
9. Csilla K. Hallberg, Stefan D. Trocme, and Nassen H. (1996) Ansari. Acceleration of corneal wound healing in diabetic rats by antioxidant Trolox. *Res Commun Mol Pathol Pharmacol*. V. 93, No. 1, P. 3–12.

10. Harman D. (1984) Free radical theory of aging: the free radical diseases. *Age*. V. 7, No. 1. P. 111–137.
11. Medusheva E.O. (2004) *Razrabotka, eksperimental'noe obosnovanie i vnedrenie v khirurgicheskuyu praktiku ranevykh pokrytiy s kompleksnym nekroliticheskim, antimikrobnym i antioksidantnym deystviem (eksperimental'noe issledovanie)* [Development, experimental substantiation and introduction into surgical practice of wound coverings with complex necrolytic, antimicrobial and antioxidant action (experimental study)] *Diss. d-ra med. nauk* [Diss. Ph.D.]. Moscow. 389 p.
12. Kamaev M.F. (1975) *Lechenie ran antioksidantami* [Treatment of wounds with antioxidants] *Khirurgiya* [Surgery]. No. 4. P. 52–54.
13. Klebanov G.I., Vladimirov Yu.A. (1999) *Kletochnye mekhanizmy praiminga i aktivatsii fagotsitov* [Cellular mechanisms of priming and activation of phagocytes] *Uspekhi sovrem. biol.* [The successes of modern biology]. V. 119. No. 5. P. 462–475.
14. Gorturk E., Turgut A., Baum C., Gunal I., Seber S., Gulbas Z. (1995) Oxygen-free radicals impair fracture healing in rats. *Acta orthop. Scand*. V. 66. N. 5. P. 473–475.
15. Palamand S., Reed A.M., Weimann L.J. (1992) Testing intelligent wound dressings. *J. Biomater. Appl*, 6, P. 198–215.
16. Latba B., Ramakrishan M., Jayaraman V., Babu M. (1998) The efficacy of trypsin: chymotrypsin preparation in the redaction of oxidative damage during burn injury. *Burns*. V. 24. No. 6. P. 532–538.
17. Kas H.S. (1997) Chitosan: properties, preparation and application to microparticulate systems. Review. *J. Microencaps.* V. 14. No. 6. P. 689–711.
18. *Rynok fermentov v Rossii – 2025* [The enzyme market in Russia – 2025] *Pokazateli i prognozy* [Indicators and forecasts]. Available at: <https://bsmarket.ru/rynok-fermentov-vossii?yclid=10333875373291339775?print=1> (date of access 14-04-2025).
19. Matiev O.V., Bykova A.A., Belov A.A. (2025) *Sintez i issledovanie svoystv kompozitsionnykh materialov na osnove tsellyulozy i khitozana, soderzhashchie razlichnye terapevticheskie agenty. Chast' 7. Vliyanie al'degidsoderzhashchikh veshchestv na sokhranenie fermentativnykh aktivnostey tsisteinovykh polifermentnykh preparatov v protsesse polucheniya, khraneniya i ekspluatatsii* [Synthesis and study of the properties of composite materials based on cellulose and chitosan containing various therapeutic agents. Part 7. Influence of aldehyde-containing substances on the preservation of enzymatic activities of cysteine polyezyme preparations during production, storage and operation] *Butlerovskie soobshcheniya* [Butlerov communications]. Vol. 81. No. 3. P. 89–101. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-81-3-89.
20. Antonello Mameli, Valentino Natoli (2021) Cinzia Casu Bromelain: an Overview of Applications in Medicine and Dentistry. *Biointerface research in applied chemistry*. 2021. Vol. 11. Issue 1. R. 8165–8170. Available at: <https://doi.org/10.33263/BRIAC111.81658170>.
21. Dosadina E.E., Savelyeva E.E. & Belov A.A. (2018) The effect of immobilization, drying and storage on the activity of proteinases immobilized on modified cellulose and chitosan. *Process Biochemistry*. 64. P. 213–220.
22. Vanyushenkova A.A., Shokodko M.I., Kushnerev K.S., et al. (2023) *Ispol'zovanie nanochastits serebra i proteaz pri sozdanii novykh biomeditsinskikh materialov dlya ranozazhivleniya* [Use of silver nanoparticles and proteases in the creation of new biomedical materials for wound healing] *Khim. prom. segodnya* [Chemical industry today]. No. 1. P. 14–23. DOI 10.53884/27132854_2023_1_14.
23. Vernikovskii B.V., Stepanova E.F. (2012) Immobilized proteases for wound cleaning. *Russ. J. Gen. Chem.* 82, 572–578.
24. Serkov I.V. (2010) Synthesis and properties of biologically active compounds containing NO-donor fragment. Abstract of dissertation for the degree of Doctor of Chemical Sciences, Chernogolovka. P. 50.
25. Gauglitz G.G., Korting H.C., Pavicic T., et al. (2011) Hypertrophic scarring and keloids: pathomechanisms and current and emerging treatment strategies. *Mol Med*. 2011.17. P. 113–125.
26. Han S.-K. (2016) *Interactive Wound Dressings. Innovations and Advances in Wound Healing*. 2016. 5. P. 39–61.
27. Diomina N.B. (2016) Modern trends in development of the technology of matrix drug dosage forms with modified release (a review). *Chem.-Pharm. J.* 50(7), P. 44–50.

28. Mogosanu G.D., Grumezescu A.M., Bejenaru L.E. and Bejenaru C. (2016) Natural and synthetic polymers for drug delivery and targeting. Ed. Grumezescu A.M. Nanobiomaterials in Drug Delivery. Applications of Nanobiomaterials. Vol. 9, Elsevier. New York. P. 229–284.
29. Belov A.A., Vanyushenkova A.A., Dosadina E.E., Khanafina A.A. (2018) *Novye tekstil'nye perev'yazochnye materialy na osnove biodegradiruemyykh polimerov, sodержashchikh proteinazy, dlya lecheniya ran i ozhogov* [New textile dressings based on biodegradable polymers containing proteinases for the treatment of wounds and burns] *Rany i ranevye infektsii. Zhurnal im. prof. B.M. Kostyuchenka* [Wounds and wound infections. Journal named after prof. B.M. Kostyuchenok] 5 (1). P. 16–26.
30. Vanyushenkova A.A., Dosadina E.E., Belov A.A., et al. (2019) *Sintez i issledovanie svoystv kompozitsionnykh materialov na osnove tsellyulozy i khitozana sodержashchie razlichnye terapevticheskie agenty. Chast' 2. Vliyaniye khitozana na destruktsiyu tsellyuloznykh nositeley i kinetiku vykhoda terapevticheskogo agenta v model'noy srede* [Synthesis and study of the properties of composite materials based on cellulose and chitosan containing various therapeutic agents. Part 2. Effect of chitosan on the destruction of cellulose carriers and the kinetics of the release of the therapeutic agent in a model environment] *Butlerovskie soobshcheniya* [Butlerov communications]. Vol. 57. No. 3. P. 105–119. DOI: jbc-01/19-57-3-105.
31. Kruppa I.S. (2017) *Polisakharidnye polimery-nositeli dlya fiziologicheskii aktivnykh naftal'degidov* [Polysaccharide polymer carriers for physiologically active naphthaldehydes] *Diss. kand. khim. nauk. RKhTU* [Diss. for the degree of Doctor. Chem. RUCTU]. Moscow. P. 137.
32. Pravina Piste Cysteine – master antioxidant. International Journal of Pharmaceutical, Chemical and Biological Sciences. 2013. 3(1). P. 143–149.
33. Clare L. Hawkins X, Michael J. Davies (2019) Detection, identification, and quantification of oxidative protein modifications. J. Biol. Chem. 294(51), P. 19683–19708. DOI 10.1074/jbc.REV119.006217.
34. Jos J.A. Kamps G., Richard J. Hopkinson, Christopher J. Schofield & Timothy D.W. Claridge (2019) How formaldehyde reacts with amino acids. Communications Chemistry. 2019-2. P. 126. Available at: <https://doi.org/10.1038/s42004-019-0224-2>.
35. Bromelain: An overview of industrial application and purification strategies. Applied Microbiology and Biotechnology. June 2014 DOI: 10.1007/s00253-014-5889.
36. Mosolov V.V. (1971) *Proteoliticheskie fermenty* [Proteolytic enzymes] *Nauka* [Nauka]. Moscow. 404 p.
37. Chernyshova E.B. *Modifikatsiya plenochnykh materialov na osnove khitozana nizkomolekulyarnymi i polimernymi al'degidami* [Modification of film materials based on chitosan with low molecular weight and polymeric aldehydes] *Diss.... kand. khim. nauk.* [Diss. for Doctor in Chemistry]. Volgograd. 2018. 113 p.
38. Rogovin Z.A. (1972) *Khimiya tsellyulozy* [Cellulose chemistry] *Khimiya* [Chemistry]. Moscow. P. 125–244.
39. Kim U.-J., Kim H.J. Choi J.W., Kimura S.M. (2017) Wada Cellulose-chitosan beads crosslinked by dialdehyde cellulose. Cellulose. Vol. 24. P. 5517–5528.
40. Song L., Cruz C., Farrah S.R., Baney R.H. (2009) Novel antiviral activity of dialdehyde starch. Electronic Journal of Biotechnology. V. 12, No. 2. P. 1–5.
41. Nudga L.A., Petrova V.A., Gofman I.V. et al. (2008) *Khimicheskie i strukturnye prevrashcheniya v khitozanovykh plenkach v protsesse khraneniya* [Chemical and structural transformations in chitosan films during storage] *ZhPKh* [Zh. Phys]. Vol. 81. Issue 11. P. 1877–1881.
42. Singh M., Ray A.R., Vasudevan P., Guha S.K. (1979) Potential biosoluble carriers. Biomaterials. Vol. 7. Is. 4. P. 495–512. Available at: <https://doi.org/10.3109/10731197909118964>.
43. Belov A.A. (2012) *Tekstil'nye materialy, sodержashchie immobilizovannye gidrolazy dlya meditsinskikh i kosmetologicheskikh tseley. Poluchenie. Svoystva. Primenenie* [Textile materials containing immobilized hydrolases for medical and cosmetic purposes. Production. Properties. Application]. LAP LAMBERT Acad. Pub., GmbH & Co. KG, Germany. 242 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСПРОВОЦИРОВАННЫХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ОБЪЕМОВ И ПОТОКОВ ПРИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ХРОНИЧЕСКОЙ ОБСТРУКТИВНОЙ БОЛЕЗНИ ЛЕГКИХ И ЕЕ СОЧЕТАНИИ С АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ

М.Ю. Вострокнутова, аспирант, ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России, vostroknutovamarina@yandex.ru

Рецензент: В.Г. Вилков, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации, д-р мед. наук, vilkov_vladimir@list.ru

В формировании структуры профессиональной заболеваемости значимую роль имеет профессиональная хроническая обструктивная болезнь легких (ПХОБЛ) и ее осложнения. Согласно современным представлениям, ПХОБЛ представляет собой заболевание, характеризующееся персистирующими респираторными симптомами и ограничением воздушно-го потока, обусловленными патологией воздухопроводящих путей и/или альвеол, которые вызваны аномальной воспалительной реакцией легочной ткани на воздействие повреждающих частиц или газов производственной среды [1]. Согласно полученным данным отделения профпатологии Областного центра профпатологии ГБУЗ СО «Самарская городская больница № 5», при проведении анализа профессиональной заболеваемости за 2020–2023 гг. установлено, что профессиональные заболевания легких — неотъемлемая часть структуры профессиональной заболеваемости в Самарской области. Одним из наиболее частых коморбидных состояний в профпатологической практике является сочетание ПХОБЛ с артериальной гипертензией [4].

Ключевые слова: профессиональная хроническая обструктивная болезнь легких, коморбидная патология, спирометрия.

INVESTIGATION OF UNPROVOKED RESPIRATORY VOLUMES AND FLOWS IN OCCUPATIONAL CHRONIC OBSTRUCTIVE PULMONARY DISEASE AND ITS COMBINATION WITH ARTERIAL HYPERTENSION

M.Yu. Vostroknutova, Graduate Student, Samara State Medical University
Ministry of Health of Russia, vostroknutovamarina@yandex.ru

Occupational chronic obstructive pulmonary disease (COPD) and its complications play a significant role in shaping the structure of occupational morbidity. According to modern concepts, occupational COPD is a disease characterized by persistent respiratory symptoms and airflow restriction caused by pathology of the airways and/or alveoli, which are caused by an abnormal inflammatory reaction of the lung tissue to exposure to damaging particles or gases of the industrial environment. According to the data obtained from the Department of Occupational Pathology of the Regional Center of Occupational Pathology of the Samara City Hospital No. 5, when analyzing occupational morbidity for 2020–2023, it was found that occupational lung diseases are an integral part of the structure of occupational morbidity in the Samara region. One of the most common comorbid conditions in occupational pathology practice is the combination of occupational COPD with arterial hypertension (AH).

Keywords: occupational chronic obstructive pulmonary disease, comorbid pathology, spirometry.

Актуальность нашего исследования заключается в том, что в настоящее время прослеживается устойчивая тенденция к увеличению продолжительности жизни, и число пациентов с коморбидной патологией увеличивается. В целом диагностические мероприятия и тактика лечения профессиональной хронической обструктивной болезни легких (ПХОБЛ) и артериальной гипертензии (АГ) определяются действующими клиническими рекомендациями для обеих нозологий, однако имеется ряд особенностей при сочетании этих заболеваний в связи с развитием их взаимного патологического влияния, что приводит к усугублению течения каждого из них [1, 2, 4].

Цель нашего исследования — определение и анализ спирометрических данных у пациентов с изолированным течением ПХОБЛ и ее сочетанием с АГ.

Исследование проводилось на базе кафедры профессиональных болезней и клинической фармакологии имени заслуженного деятеля науки Российской Федерации, профессора Косарева Владислава Васильевича ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» (СамГМУ) Минздрава России и отделения профпатологии ГБУЗ СО «Самарская городская больница № 5». В исследовании приняли участие 235 больных.

1-я группа ($n = 60$) (контроль) — здоровые добровольцы; 2-я группа ($n = 35$) — ПХОБЛ I стадия; 3-я группа ($n = 50$) — ПХОБЛ II стадия; 4-я группа ($n = 40$) — сочетание ПХОБЛ II стадии и АГ; 5-я группа ($n = 50$) — изолированное течение АГ.

В группы обследованных вошли работники учреждений здравоохранения, предприятий нефтегазовой, металлургической, парфюмерной, пищевой промышленности, строительной и сельскохозяйственной сфер. При установлении диагноза использовались критерии, рекомендуемые приказом Минздравсоцразвития России № 417н от 27.4.2012 «Об утверждении перечня профессиональных заболеваний», Федеральными клиническими рекомендациями «Профессиональная хроническая обструктивная болезнь легких», критериями GOLD (2023).

Проводимое исследование было одобрено комитетом по биоэтике при ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России. Оценивались спирометрические данные у групп по однофакторному дисперсионному анализу с межгрупповыми сравнениями по критерию Даннетта. Исследование выполнено в рамках комплексной темы кафедры профессиональных болезней и клинической фармакологии имени заслуженного деятеля науки Российской Федерации профессора В.В. Косарева ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России «Проблемы полиморбидности, диагностика, прогнозирование и профилактика профессиональных и производственно-обусловленных заболеваний у работников при изолированном сочетанном воздействии факторов производственной среды и трудового процесса» (регистрационный номер 124053000016-4, дата постановления на учет: 30.05.2024).

В ходе нашего исследования при оценке форсированной жизненной емкости легких (FVC) у больных с I стадией ПХОБЛ было обнаружено ее достоверное снижение по сравнению с больными контрольной группы ($p < 0,001$). Также этот показатель снижен у больных с II стадией ПХОБЛ относительно группы контроля ($p < 0,001$). В то же время в группе больных с II стадией ПХОБЛ форсированная жизненная емкость легких имеет достоверно более низкие значения, чем в группе больных с I стадией ПХОБЛ ($p < 0,001$). В группе сочетанного течения II стадии ПХОБЛ с АГ данный показатель имеет достоверно более низкие значения, чем в группе контроля ($p < 0,001$), в группах изолированного течения ПХОБЛ I стадии ($p < 0,001$) и II стадии ($p < 0,001$) ПХОБЛ. Уровень форсированной жизненной емкости легких у больных с АГ достоверно снижен относительно контрольной группы ($p < 0,001$), но имеет достоверно более высокие значения относительно группы сочетанного течения II стадии ПХОБЛ с АГ ($p < 0,001$).

При анализе объема форсированного выдоха за 1 секунду (FEV1) в группах больных с I и II стадией ПХОБЛ было выявлено его достоверное снижение в каждой группе по сравнению с группой контроля ($p < 0,001$). В то же время в группе с II стадией ПХОБЛ объем форсированного выдоха за 1 секунду имеет достоверно более низкие значения, чем в группе

с I стадией ПХОБЛ ($p < 0,001$). Достоверно более низкие показатели объема форсированного выдоха за 1 секунду выявлены и в группе сочетанного течения ПХОБЛ с АГ по сравнению с группой контроля ($p < 0,001$), с группой I стадии ПХОБЛ ($p < 0,001$) и с группой II стадии ПХОБЛ ($p < 0,001$). Уровень исследуемого показателя у больных с АГ достоверно снижен по сравнению с контрольной группой ($p < 0,001$), но имеет достоверно более высокие значения по сравнению с группой сочетанного течения II стадии ПХОБЛ с АГ ($p < 0,001$).

При сравнении модифицированного индекса Тиффно (FEV_1/FVC) у группы больных с I стадией ПХОБЛ с контрольной группой обнаружено его достоверное снижение ($p < 0,001$). Также этот показатель снижен у больных с II стадией ПХОБЛ относительно группы контроля ($p < 0,001$). В то же время в группе с II стадией ПХОБЛ модифицированный индекс Тиффно имеет достоверно более низкие значения, чем в группе с I стадией ПХОБЛ ($p < 0,001$). В группе сочетанного течения II стадии ПХОБЛ с АГ данный показатель имеет достоверно более низкие значения, чем в группе контроля ($p < 0,001$), а также в группах изолированного течения ПХОБЛ I ($p < 0,001$) и II стадий ($p < 0,001$). Содержание модифицированного индекса Тиффно у больных с АГ достоверно снижено по сравнению с контрольной группой ($p < 0,001$), но имеет достоверно более высокие значения по сравнению с группой сочетанного течения II стадии ПХОБЛ с АГ ($p < 0,001$).

При исследовании пиковой объемной скорости выдоха (PEF) у больных с I стадией ПХОБЛ было обнаружено ее достоверное снижение по сравнению с больными контрольной группы ($p < 0,001$). Также этот показатель снижен у больных с II стадией ПХОБЛ относительно группы контроля ($p < 0,001$). Однако, в группе больных с II стадией ПХОБЛ пиковая объемная скорость выдоха имеет достоверно более низкие значения, чем в группе больных с I стадией ПХОБЛ ($p < 0,001$). В группе сочетанного течения II стадии ПХОБЛ с АГ данный показатель имеет достоверно более низкие значения, чем в группе контроля ($p < 0,001$), в группах изолированного течения ПХОБЛ I ($p < 0,001$) и II стадий ПХОБЛ ($p < 0,001$). Уровень пиковой объемной скорости выдоха у больных с АГ достоверно снижен по сравнению с контрольной группой ($p < 0,001$), но имеет достоверно более высокие значения по сравнению с группой сочетанного течения II стадии ПХОБЛ с АГ ($p < 0,001$) (табл. 1).

Таблица 1

**Показатели спирометрии при изолированном течении ПХОБЛ
и ее сочетании с артериальной гипертензией**

Группы сравнения	FVC	FEV1	FEV1/FVC %	PEF
Контроль ($n = 60$)	106,62 ± 2,82	105,78 ± 2,50	106,77 ± 2,71	106,32 ± 2,22
ПХОБЛ I ($n = 35$)	80,23 ± 2,17	84,74 ± 2,42	66,23 ± 3,87	65,11 ± 2,54
ПХОБЛ II ($n = 50$)	72,18 ± 2,93	62,12 ± 2,55	62,78 ± 2,48	59,78 ± 2,35
ПХОБЛ II + АГ ($n = 40$)	68,23 ± 2,64	54,00 ± 2,28	52,13 ± 1,98	52,00 ± 2,45
АГ ($n = 50$)	98,76 ± 1,33	96,28 ± 2,31	96,74 ± 1,71	98,00 ± 1,20
p К-ПХОБЛ I	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p К-ПХОБЛ II	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p К-ПХОБЛ II + АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p К-АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p ПХОБЛ I-ПХОБЛ II	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p ПХОБЛ I-ПХОБЛ II + АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p ПХОБЛ II-ПХОБЛ II + АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p ПХОБЛ II+АГ – АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

При оценке максимальной объемной скорости выдоха на уровне 25 %, на уровне 50 %, а также на уровне 75 % FVC (MEF 25 %, MEF 50 %, MEF 75 %) у больных с I стадией профессионально обусловленной ХОБЛ было обнаружено значимое снижение исследуемых параметров при сопоставлении с ГК ($p < 0,001$). Также данные параметры снижены у больных с II стадией профессионально обусловленной ХОБЛ при сопоставлении с ГК ($p < 0,001$). Обращает на себя внимание, что в когорте больных с II стадией профессионально обусловленной ХОБЛ MEF 25 %, MEF 50 % и MEF 75 % имеют достоверно более низкие значения, чем в когорте больных с I стадией профессионально обусловленной ХОБЛ ($p < 0,001$). В когорте сочетанного течения II стадии профессионально обусловленной ХОБЛ с АГ изучаемые параметры имеют более низкие значения, чем в ГК ($p < 0,001$), в когортах изолированного течения профессионально обусловленной ХОБЛ I ($p < 0,001$) и II стадий профессионально обусловленной ХОБЛ ($p < 0,001$). Значения описываемых параметров у больных с изолированной АГ значимо снижены при сопоставлении с ГК ($p < 0,001$), но имеют значимо более высокие показатели при сопоставлении с когортой сочетанного течения II стадии профессионально обусловленной ХОБЛ с АГ ($p < 0,001$) (табл. 2).

Таблица 2

Параметры спирометрии при изолированном течении ПХОБЛ и ее сочетании с артериальной гипертензией

Группы сравнения	MEF 25 %	MEF 50 %	MEF 75 %	Rfo
Контроль ($n = 60$)	105,22 ± 2,16	105,52 ± 2,07	106,88 ± 2,37	85,22 ± 1,96
ПХОБЛ I ($n = 35$)	63,37 ± 2,49	76,26 ± 1,95	77,29 ± 1,69	102,17 ± 2,78
ПХОБЛ II ($n = 50$)	59,82 ± 1,97	70,42 ± 2,22	68,14 ± 3,98	108,32 ± 3,35
ПХОБЛ II + АГ ($n = 40$)	51,00 ± 2,20	62,20 ± 2,09	60,55 ± 2,95	114,75 ± 4,18
АГ ($n = 50$)	96,98 ± 1,56	98,12 ± 1,08	97,28 ± 1,41	86,18 ± 3,68
p К-ПХОБЛ I	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p К-ПХОБЛ II	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p К-ПХОБЛ II + АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p К-АГ	<0,001	<0,001	<0,001	0,637
p ПХОБЛ I – ПХОБЛ II	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p ПХОБЛ I – ПХОБЛ II + АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p ПХОБЛ II – ПХОБЛ II + АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p ПХОБЛ II + АГ – АГ	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Уровень общего сопротивления дыханию (Rfo) у больных с I стадией профессионально обусловленной ХОБЛ значимо превышает значения ГК ($p < 0,001$). Также увеличен изучаемый параметр у больных с II стадией профессионально обусловленной ХОБЛ при сопоставлении с ГК ($p < 0,001$). В то же время у больных с II стадией профессионально обусловленной ХОБЛ значения Rfo оказались значимо выше, чем у больных с I стадией профессионально обусловленной ХОБЛ ($p < 0,001$). В когорте больных с II стадией профессионально обусловленной ХОБЛ при ее сочетании с АГ изучаемый параметр имеет значимо более высокие показатели, чем в ГК ($p < 0,001$), в когортах изолированного течения профессионально обусловленной ХОБЛ I ($p < 0,001$) и II стадий профессионально обусловленной ХОБЛ ($p < 0,001$). Нельзя не отметить, что у больных с сочетанным течением II стадии профессионально обусловленной ХОБЛ с АГ уровень Rfo имеет значимо более высокие значения при сопоставлении с изолированной АГ ($p < 0,001$). Однако, между когортой больных

с изолированной АГ и ГК по исследуемому параметру достоверных различий не выявлено ($p = 0,637$).

Таким образом, клинико-функциональными особенностями течения профессиональной хронической обструктивной болезни легких в сочетании с артериальной гипертензией являются достоверно низкие значения показателей спирометрии у пациентов с сочетанным течением II стадии ПХОБЛ с АГ относительно больных с изолированным течением ПХОБЛ и лиц контрольной группы [3, 4].

Список литературы

1. Хроническая обструктивная болезнь легких: Федеральные клинические рекомендации / утв. Ассоциацией врачей и специалистов медицины труда. М., 2024. 120 с.
2. Бухтияров И.В., Кузьмина Л.П., Шпагина Л.А., Алексеев В.Б., Амиров Н.Х. и др. Профессиональная патология: национальное руководство / 2-е изд., перераб. и доп. М., 2024. 904 с. DOI: 10.33029/9704-8177-6-PP2-2024-1-904.
3. Профессиональная хроническая обструктивная болезнь легких: учеб. пособие / под ред. С.А. Бабанова. Самара, 2024.
4. Шпагин И.С. и др. Профессиональная хроническая обструктивная болезнь легких в сочетании с сердечной недостаточностью — клинико-функциональные особенности // Медицина труда и промышленная экология. 2019. № 59 (7). С. 388—394.

References

1. *Khronicheskaya obstruktivnaya bolezni' legkikh: Federal'nye klinicheskie rekomendatsii* [Chronic obstructive pulmonary disease: Federal Clinical guidelines] *Utv. Assotsiatsiey vrachey i spetsialistov meditsiny truda* [Association of Doctors and Specialists in Occupational Medicine]. Moscow. 2024. 120 p.
2. Bukhtiyarov I.V., Kuzmina L.P., Shpagina L.A., Alekseev V.B., Amirov N.Kh. et al. (2024) *Professional'naya patologiya: natsional'noe rukovodstvo* [Occupational pathology: national guidelines] 2-e izd., pererab. i dop. [2nd ed., reprint]. Moscow. 904 p. DOI: 10.33029/9704-8177-6-PP2-2024-1-904.
3. *Professional'naya khronicheskaya obstruktivnaya bolezni' legkikh: ucheb. posobie* [Professional chronic obstructive pulmonary disease: textbook. manual] *Pod red. S.A. Babanova* [Ed. by S.A. Babanov]. Samara. 2024.
4. Shpagin I.S. et al. (2019) *Professional'naya khronicheskaya obstruktivnaya bolezni' legkikh v sochetanii s serdechnoy nedostatochnost'yu — kliniko-funktsional'nye osobennosti* [Occupational chronic obstructive pulmonary disease in combination with heart failure-clinical and functional features] *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya* [Occupational medicine and industrial ecology]. No. 59 (7). P. 388—394.

НАЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

О ХОДЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ВОЕННОГО, ГРАЖДАНСКОГО И ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ЗА РУБЕЖОМ

Д.Б. Изюмов, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, izyumov@extech.ru

Е.Л. Кондратюк, нач. отдела ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, kel@extech.ru

Рецензент: С.В. Стрельников, АО «Научно-исследовательский институт точных приборов», д-р техн. наук, orionsvs@mail.ru

В статье дано определение понятия «искусственный интеллект» в законодательстве Российской Федерации и США. Представлены направленность и тенденции развития и внедрения технологий искусственного интеллекта военного, гражданского и двойного назначения в ведущих странах мира. Основное внимание уделено задачам, направлениям, программам и проектам США и Китая в области развития технологий искусственного интеллекта военного и гражданского назначения.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, вооружение, военная и специальная техника, автоматизированная система управления войсками и оружием, робототехника, беспилотный летательный аппарат, программа, исследование, разработка, проект, демонстрационный образец, технология, инновация.

ON THE PROGRESS OF ADVANCED RESEARCH AND DEVELOPMENT OF MILITARY, CIVILIAN AND DUAL-USE ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES ABROAD

D.B. Izyumov, Deputy Director of Centre, SRI FRCEC, izyumov@extech.ru

E.L. Kondratyuk, Head of Department, SRI FRCEC, kel@extech.ru

The article defines the concept of «artificial intelligence» in the legislation of the Russian Federation and the USA. The focus and trends of the development and implementation of artificial intelligence technologies for military, civilian and dual-use purposes in the leading countries of the world are presented. The main attention is paid to the tasks, directions, programs and projects of the USA and China in the field of development of artificial intelligence technologies for military and civilian purposes.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, armament, military and special equipment, automated command and control system for troops and weapons, robotics, unmanned aerial vehicle, program, research, development, project, demonstration sample, technology, innovation.

В соответствии с российской Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 10.10.2019 № 490) под искусственным интеллектом понимается «комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении

конкретных задач результаты, сопоставимые как минимум с результатами интеллектуальной деятельности человека». При этом «комплекс технологических решений включает в себя информационно-коммуникационную инфраструктуру, программное обеспечение (в том числе в котором используются методы машинного обучения), процессы и сервисы по обработке данных и поиску решений» [1].

В законе о военном бюджете США на 2019 финансовый год были даны сразу пять определений понятия «искусственный интеллект» [2], два из которых гласят, что «искусственный интеллект — это система, способная решать задачи в меняющейся и непредсказуемой обстановке без вмешательства человека или способная к самообучению и повышению эффективности своих действий на основе ранее полученных данных» и «искусственный интеллект — это аппаратно-программная, компьютерная или другая система, обладающая способностью решать задачи, требующие восприятия, познания, планирования, обучения, взаимодействия или физического (механического) воздействия, которые совершает человек».

Действующие китайские законы и правила не содержат четкого определения понятия «искусственный интеллект». В соответствии с утвержденным Госсоветом КНР в 2017 г. Планом развития искусственного интеллекта нового поколения до 2030 года [17] искусственный интеллект определяется как «стратегическая технология и двигатель экономического развития государства» («основная движущая сила нового витка промышленной трансформации»), «революционная технология с широким влиянием, которая может вызвать трансформацию структур занятости; влияние на правовые и социальные теории; нарушение неприкосновенности частной жизни; вызовы в международных отношениях и нормах; и другие проблемы». В КНР термин «искусственный интеллект» включает целый спектр понятий и широкий круг трактовок в зависимости от контекста.

Анализ исследований и разработок в области развития и внедрения технологий искусственного интеллекта (ИИ) за рубежом показывает, что в последнее десятилетие политика США преимущественно направлена на его использование в области национальной безопасности и социальной стабильности государства в долгосрочной перспективе. При этом ведущие европейские страны (Германия, Великобритания и Франция) большее внимание уделяют этическим вопросам развития ИИ и проблемам неприкосновенности частной жизни. Политика Японии в области ИИ больше ориентирована на создание механизма продвижения исследований ИИ в целях развития общества нового, «умного» формата, а политика Китая — на решение сугубо прагматичных практических задач гражданского и двойного назначения (развитие компьютерного зрения, человекоподобной робототехники, интеллектуальных терминалов и «умных» средств доставки, виртуальной и дополненной реальности, взаимодействие компьютера и человека, обработка естественных языков, распознавание образов и речи).

К настоящему времени за рубежом наиболее крупными научными и исследовательскими организациями в области развития и внедрения технологий ИИ являются Массачусетский технологический институт и Исследовательский институт машинного интеллекта (США), Немецкий исследовательский центр по искусственному интеллекту (Германия), Национальный институт современной промышленной науки и технологий (Япония), Индийский технологический институт в Мадрасе (Индия), Институт искусственного интеллекта Университета Цинхуа (Китай), а также Государственная ведущая лаборатория интеллектуальных технологий и систем (Китай) и Национальная инженерная лаборатория технологий и применения глубокого обучения (Китай). Анализ тенденций последних лет показывает существенно возросшую военно-прикладную направленность и направленность двойного назначения проводимых исследований и разработок в области ИИ.

Такие ведущие и технологически развитые зарубежные страны, как США, Великобритания, Франция, Германия, Израиль, Индия и Китай, реализуют национальные военные программы, предусматривающие внедрение и применение ИИ как в системах управления войсками

и оружием, так и в отдельных образцах вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ). Во многих государствах активно реализуются программы создания боевых наземных, воздушных, морских и космических роботизированных комплексов, систем и средств с ИИ. При этом в боевых роботизированных образцах и системах планируется использовать новейшие технологии автоматизированной обработки данных, опыт изготовления устройств с виртуальной и дополненной реальностью, а также эффективные средства хранения и скоростной передачи цифровой информации [3].

Широкое внедрение алгоритмов ИИ в специальное программно-математическое обеспечение систем управления войсками и оружием становится одним из основных направлений развития вооруженных сил ведущих стран мира, особенно США и Китая. В Стратегии национальной обороны США (National Defense Strategy) [4], составной частью которой является Стратегия искусственного интеллекта Министерства обороны США (Department of Defense Artificial Intelligence Strategy) [5], отмечается, что ИИ «изменит общество и в итоге характер войны». По мнению американских экспертов, война будущего — это «противостояние цифровых алгоритмов». В Белой книге КНР по национальной обороне, озаглавленной «Национальная оборона Китая в новой эре» (China's National Defense in the New Era) [6], утверждается о «переходе от информатизированных военных действий к интеллектуализированной войне будущего».

Показателен один из выводов, озвученных американскими военными по итогам учений конца 2020 г. под названием «Проект «Конвергенция» (Project Convergence) с использованием нескольких систем ИИ: «Если раньше время от момента обнаружения цели до выстрела по ней составляло 20 минут, то благодаря разведывательным спутникам, каналам спутниковой связи и внедряемым технологиям ИИ нам удалось сократить это время до 20 секунд. При наличии ИИ фактор времени уже сам по себе превращается в оружие» [7].

В отчете Исследовательской службы Конгресса США «Искусственный интеллект и национальная безопасность» (Artificial Intelligence and National Security) [8], выполненном в конце 2020 г., говорится, что главной причиной создания различных систем военного назначения с ИИ является необходимость оперативной обработки огромных объемов структурированных и неструктурированных данных (Big Data). Это обусловливается постоянным расширением номенклатуры и возможностей технических средств разведки, предоставлением информации для систем вооружения в различной форме — от фотоснимков и текстовых сообщений на иностранных языках до многовариантной интерпретации видеоизображений и адресного направления кодированных сообщений по сетям связи и в киберпространстве, включая сеть Интернет.

В Минобороны США для координации выполняемых в рассматриваемой области работ в 2018 г. специально созданы Объединенный центр искусственного интеллекта (Joint Artificial Intelligence Center — JAIC), а также целевая группа по вопросам его применения. Главная цель Центра — распространение и внедрение систем и технологий ИИ в различных сферах деятельности военного ведомства, обеспечение преимуществ в оснащении американских вооруженных сил и превосходства над высокотехнологичным противником, прежде всего КНР и Российской Федерацией. Центр JAIC тесно взаимодействует с Управлением перспективных исследовательских проектов Минобороны США (Defense Advanced Research Projects Agency — DARPA), военными научно-исследовательскими лабораториями и другими организациями, ориентированными на разработку и совершенствование искусственного (машинного) интеллекта для боевых комплексов и систем [9].

В настоящее время стоит выделить несколько крупных программ и проектов в США, связанных с внедрением технологий ИИ в автоматизированные системы управления и системы ВВСТ:

1. Разработка и развитие комплексной системы боевого управления IBCS (Integrated Air and Missile Defense Battle Command System) для интегрированной системы противовоздуш-

ной (ПВО) и противоракетной (ПРО) обороны. Система IBCS предназначена для подключения ранее несовместимых радиолокационных средств и систем сухопутных войск, объединения всех выдаваемых ими данных о наведении в единый высокоточный трек и передачи этих данных той ракетной пусковой установке, которая в данный момент имеет наибольшие шансы поразить аэродинамическую или баллистическую цель. Искусственный интеллект в составе системы IBCS предназначен для ускорения решения задач управления средствами разведки, обработки больших массивов поступающих данных и выдачи рекомендаций для последующего поражения воздушных целей в системах ПВО – ПРО. Интегрированная система боевого управления IBCS построена на основе модульной и открытой системной сети. Текущими планами предусматриваются создание 500 единиц рабочих аппаратно-программных мобильных комплексов на базе ИИ (мобильные командные центры – Engagement Operation Center), их поставки в вооруженные силы разных стран-союзников США по НАТО и проведение комплексных испытаний. В перспективе ожидается комплексное управление силами и средствами ПВО – ПРО на различных театрах военных действий (ТВД), например, европейском и ближневосточном. По ряду оценок, на разработку и создание системы IBCS будет потрачено не менее 4,1 млрд долл. [10].

2. Разработка MDC2 (Multi-Domain Command & Control) – автоматизированной системы управления (АСУ), обеспечивающей синхронизацию действий сил и средств на ТВД, применение ВВТ в пяти сферах (вода, земля, воздух, космос и киберпространство) в соответствии с концепцией и стратегией многоуровневого противоборства MDB (Multidomain battle) вооруженных сил США. Искусственный интеллект в составе АСУ MDC2 предназначен для решения задач управления разнородными средствами разведки и выдачи рекомендаций для огневого поражения объектов противника на ТВД. В настоящее время подготовлены проекты внедрения ИИ в АСУ войсками и оружием, ведется разработка функциональных компонентов системы [11].

3. Разработка и создание образцов боевых беспилотных летательных аппаратов (БЛА) с высокой степенью автономности, обеспечиваемой искусственным интеллектом, и способных действовать совместно с пилотируемыми самолетами вооруженных сил США, с которых осуществлялись бы управление ими и целеуказание. В США такие БЛА называют термином «лояльный (верный, надежный) ведомый» (Loyal Wingman). Стоит подчеркнуть, что в настоящее время реализуется сразу несколько взаимосвязанных программ ВВС США по разработке, созданию и отработке (проведению испытаний) взаимодействия различных пилотируемых самолетов вооруженных сил США с демонстрационными образцами перспективных «верных ведомых» БЛА. Среди них – программы Skyborg, Collaborative Combat Aircraft, Venom-AFT, Off-Board Sensing Station и некоторые другие [12, 13].

Крупнейшая из них программа Collaborative Combat Aircraft (CCA) является составной частью программы NGAD (Next-Generation Air Dominance), предусматривающей к 2030 г. разработку и создание многоцелевого истребителя шестого поколения. В соответствии с этими двумя программами в долгосрочной перспективе ВВС США планируют закупить и поставить на вооружение 200 истребителей шестого поколения NGAD, а также не менее 1000 единиц (от 1000 до 1500) «верных ведомых» БЛА с ИИ, обозначаемых как Collaborative Combat Aircraft. Первоначально цифра в 1000 единиц БЛА была основана на оперативной концепции, согласно которой два из этих БЛА будут действовать совместно с каждым из двухсот самолетов NGAD, а также с тремястами многоцелевыми истребителями пятого поколения F-35A. Расходы по программе CCA к 2028 г. могут достигнуть 6 млрд долл.

Разрабатываемые и создаваемые демонстрационные образцы (прототипы) «верных ведомых» БЛА с ИИ будут способны самостоятельно оценивать боевую обстановку и эффективно реагировать на ее изменение в условиях противодействия ПВО и авиации противника. Эти БЛА будут оснащены комплектом целевого оборудования с автономными алгоритмами управления (программным обеспечением) на базе ИИ, защищенной системой обмена данных, а также интеллектуальной системой управления вооружением для поражения преимущественно наземных целей. В настоящее время проводятся различные летные испытания уже созданных демонстрационных образцов «верных ведомых» БЛА, отработка задач управ-

ления этими БЛА с ИИ группой боевой авиации (например, в составе истребителей F-22A и F-35A ВВС США), выполнение заданий в полностью автономном режиме при имитации потери связи «верного ведомого» БЛА со станцией управления и отработка других специфических задач. В перспективе планируется интегрировать в разрабатываемые многоцелевые специализированные БЛА более продвинутый ИИ и возможности его машинного обучения. Военно-политическим руководством США «верные ведомые» БЛА с ИИ рассматриваются как потенциальное средство ведения будущей высокотехнологичной войны с Российской Федерацией и КНР.

4. Программа Artificial Intelligence Reinforcements (AIR) Управления перспективных исследовательских проектов Минобороны США (DARPA) [14], направленная на создание высокоточных моделей и алгоритмов ИИ, интегрируемых в истребители F-16. Ключевыми аспектами программы AIR являются:

- автоматизация тактического управления, повышающая роль пилотов истребителей до командиров миссий;
- разработка надежной системы ИИ с широким применением методов его машинного обучения для ведения маневренного воздушного боя, работающей с различными системами в динамических средах;
- применение алгоритмов ИИ в беспилотных платформах для выполнения задач с минимальным человеческим контролем.

Программа AIR дополняет существующую программу ACE (Air Combat Evolution), нацеленную на полную автоматизацию воздушного боя. В рамках программы ACE специалисты DARPA уже продемонстрировали успешный опыт беспилотного воздушного боя, где алгоритмы ИИ автономно управляют модифицированным истребителем F-16 против пилотируемого человеком F-16, выполняя сложные маневры уклонения. Это достижение руководство DARPA охарактеризовало как «переломный момент в истории аэрокосмической отрасли». Совместно программы AIR и ACE представляют значительный прогресс в развитии ИИ для военной авиации, потенциально трансформируя роль человека в воздушно-космических операциях и существенно повышая эффективность воздушного боя. В 2024 г. на программу AIR Управление DARPA направило 21 млн долл.

5. Программа поддержки стартапов, направленная на ускоренное внедрение инноваций с элементами ИИ для нужд Минобороны США. В качестве примера стоит привести украинскую компанию Bavovna AI (разрабатывает системы управления небольшими БЛА различного базирования на основе ИИ), которая в сентябре 2024 г. стала победителем конкурса передовых решений и инноваций в области развития технологий БЛА, проводимого в США. Разработки этой компании были представлены на выставке БЛА Commercial UAV Expo 2024 в г. Лас-Вегасе (шт. Невада). В частности, была представлена разработка гибридной системы альтернативной навигации (AI-powered Hybrid Inertial Navigation) для БЛА на базе объединения электроники с элементами ИИ и инерциальной системы навигации. Такая гибридная система способна функционировать в условиях отсутствия сигналов связи и навигации GPS, в том числе в условиях ведения радиоэлектронной борьбы со стороны противника. Эта разработка представляет собой компактный универсальный модуль (блок) размерами 150Ч134Ч73 мм и массой всего 800 г, который может быть установлен на любой мультироторный БЛА, FPV-дрон, БЛА вертикального взлета и посадки либо БЛА с фиксированным крылом. Модуль включает инерциальный измерительный блок, систему управления полетом на базе ИИ и легкий композитный корпус. Указанный стартап компании Bavovna AI включен в программу Air Force Labs MassChallenge Минобороны США (эта программа направлена на поддержку и ускоренное внедрение инноваций для нужд Минобороны США) и финансируется правительством США [15].

В целом анализ представленных военных программ и проектов США позволяет сделать вывод, что принятие на вооружение создаваемых перспективных образцов ВВСТ на основе

ИИ, а также введение в эксплуатацию перспективных автоматизированных систем управления войсками и оружием в долгосрочной перспективе — начиная с периода 2030–2035 гг. — приведет к существенной трансформации характера ведения войны между высокотехнологичными противниками. С годами тенденция интеграции ИИ в автономные системы ВВСТ, системы поддержки процесса принятия решений и применения ИИ в кибернетических и информационных операциях будет нарастать. Общим обязательным требованием ко всем перспективным системам ВВСТ, обладающим ИИ, станет обеспечение меньшей, чем у противника, длительности цикла управления войсками и оружием.

Что касается перспективных исследований и разработок технологий ИИ военного и двойного назначения в Китае, то в настоящее время руководство Народно-освободительной армии Китая (НОАК) финансирует широкий спектр проектов в рассматриваемой области в ответ на развитие военного ИИ в США. Усилия специалистов китайской оборонной промышленности и научно-исследовательских институтов НОАК сосредоточены на следующих основных направлениях:

- внедрение алгоритмов ИИ в специальное программно-математическое обеспечение систем управления и целеуказания ВВТ (при этом подчеркивается, что ключевые решения будут приниматься человеком);

- внедрение технологий ИИ в беспилотные платформы различного базирования в целях обработки и использования этими комплексами и системами информации в больших объемах и с большей скоростью, повышения ситуационной осведомленности и увеличения скорости и качества принятия решений на поле боя;

- повышение автономности беспилотных платформ различного базирования в условиях активного радиоэлектронного подавления;

- улучшение аппаратно-программного обеспечения БЛА;

- развитие автономных систем оружия с возможностью независимого нацеливания (например, разработка крылатых ракет с высоким уровнем искусственного интеллекта и автоматизации, включая возможность определения маршрута и идентификации цели аналогично американской высокоточной противокорабельной ракете дальнего действия AGM-158C LRASM);

- использование ИИ в кибероперациях и повышение кибербезопасности (например, использование и обучение глубокой нейронной сети для обнаружения сетевых вторжений и противодействия им);

- создание и развитие производственных систем ВВТ с большими данными;

- разработка интеллектуальной системы, способной анализировать до 300 параметров оборудования и записей технического обслуживания, в целях обеспечения прогнозируемого технического обслуживания и раннего предупреждения о надвигающемся отказе в электро-механических системах (в перспективе такая система будет внедрена во все создаваемые образцы ВВТ НОАК).

Таким образом, по мнению военно-политического руководства Китая, ИИ выступает важным компонентом в стратегическом подходе НОАК на асимметричный ответ военно-политическому доминированию США, которое привносит риски в стабильное развитие КНР и создает ряд уязвимостей перед страной.

В гражданской области развития и применения ИИ способствует появлению новых возможностей (продуктов и услуг) для улучшения качества жизни людей и повышения эффективности различных процессов, особенно в таких областях, как здравоохранение, производство, транспорт и логистика, энергетика, сельское хозяйство, финансы, информационные технологии и робототехника. Применение ИИ в гражданских отраслях потенциально способно привести к значительным изменениям в экономике, обществе и повседневной жизни. Технологическими странами-лидерами в области развития и внедрения технологий ИИ гражданского назначения являются США и Китай. В настоящее время США остаются

ведущим государством и бесспорным лидером рынка в рассматриваемой области, особенно по уровню инвестиций, однако Китай набирает все больший вес, по некоторым показателям превосходя США (например, начиная с 2022 г. Китай превзошел США по числу научных разработок, публикаций и патентов в области ИИ). Однако в рейтинге 20 ведущих стран мира в области развития ИИ (стран с наибольшим исследовательским потенциалом) Китай все еще занимает второе место после США [16, 17].

Именно в США располагаются многие крупные технологические компании, являющиеся лидерами в области развития технологий ИИ, среди них: IBM, Google, Facebook, Amazon, Microsoft, OpenAI, Hyperlink InfoSystem и др., которые внедряют ИИ в широкий спектр продуктов и услуг, начиная от поисковых систем и рекомендательных алгоритмов до автономных транспортных средств и медицины. В США также широко развита стартап-экосистема, включающая множество небольших и сравнительно молодых компаний, специализирующихся на различных областях ИИ, включая машинное видение, обработку естественного языка, робототехнику и многое другое. Эти стартапы часто становятся источником инноваций и новаторских решений в области ИИ. Правительство США продолжает активно поддерживать развитие ИИ, активно финансируя исследования и разработки посредством реализации таких программ, как AI Research and Development Initiative и National Artificial Intelligence Research Institutes.

Анализ показывает, что в США, Китае и других технологически развитых странах развитие гражданских технологий ИИ происходит по нескольким направлениям, которые условно можно разделить на две группы.

1. Улучшение существующих алгоритмов и методов. Данное направление включает разработку более точных моделей машинного обучения (Machine Learning – ML), улучшение алгоритмов обработки естественного языка (Natural Language Processing – NLP), создание более эффективных систем компьютерного зрения (Computer Vision – CV) и т.д.

2. Появление новых технологий и приложений. К ним относятся генеративно-состязательные сети, обучение с подкреплением, глубокое обучение с подкреплением и другие методы, позволяющие создавать более сложные и интеллектуальные системы.

Эти тенденции приводят к появлению новых продуктов и услуг, основанных на ИИ, таких как голосовые помощники, чат-боты, рекомендательные системы, беспилотные автомобили и т.д.

Рассмотрим некоторые примеры внедрения и использования ИИ гражданского назначения в различных сферах зарубежных стран.

В настоящее время за рубежом осуществляется активное внедрение ИИ в здравоохранении для диагностики заболеваний, прогнозирования результатов лечения, оптимизации работы медицинских учреждений, разработки индивидуализированных лечебных программ и других целей. Например, внедрением ИИ в медицине занимаются такие американские компании, как:

- IBM (проект Watson Health, который используется для анализа медицинских данных, диагностики заболеваний и разработки персонализированных методов лечения);

- Google в сотрудничестве с Национальной службой здравоохранения Великобритании (проект DeepMind, в рамках которого разработана система ИИ под названием Streams, помогающая врачам выявлять аномалии на рентгеновских снимках легких);

- Nuance Communications, разрабатывающая системы голосового ввода и вывода медицинской информации, а также системы автоматической транскрипции и аннотации медицинских записей.

В сфере транспорта и логистики ИИ внедряется для управления дорожным движением, планирования маршрутов, обеспечения безопасности на дорогах, оптимизации цепочек поставок и других задач. Например, такие компании, как Flir (США), Viscando (Швеция) и SwissTraffic (Швейцария), используют ИИ для управления дорожным движением. Так,

шведская система Viscando отслеживает поток транспорта на перекрестках и других открытых участках и может одновременно распознавать и отслеживать различные транспортные средства, а также пешеходов и велосипедистов.

В энергетике ИИ может быть использован для оптимизации энергопотребления, прогнозирования спроса на электроэнергию и управления энергосетями. Так, британская компания Google DeepMind в сотрудничестве с энергетической компанией DONG Energy Google DeepMind разработала систему ИИ под названием AlphaTensor, которая помогает оптимизировать работу ветряных турбин. В свою очередь, французская компания Schneider Electric, специализирующаяся на производстве электротехнического оборудования, использует ИИ для мониторинга и управления электрическими сетями, что позволяет быстро реагировать на сбои и предотвращать аварии.

В сельском хозяйстве ИИ позволяет эффективно управлять фермерскими хозяйствами, прогнозировать урожайность, осуществлять мониторинг состояния посевов и т.п. Так, известная американская компания John Deere, производящая сельскохозяйственную технику, использует ИИ для мониторинга и управления тракторами и комбайнами, что позволяет повысить эффективность работы и снизить затраты.

В области финансов алгоритмы ИИ помогают в обнаружении мошеннических схем, управлении рисками и прогнозировании рыночных трендов.

Что касается приоритетов и основных задач развития ИИ гражданского назначения в КНР, то приоритетом китайской индустрии гражданского ИИ является максимальная коммерциализация проектов, которая заключается в «переходе от результатов научно-технической деятельности к продукту потребления и его эффективной реализации в промышленных масштабах». Более того, реализация утвержденного Госсоветом КНР в 2017 г. Плана развития искусственного интеллекта нового поколения до 2030 года предусматривает решение четырех основных задач [18]:

1) концентрация на разработке интеллектуальных продуктов, таких как автономные транспортные средства, «умные» роботы и дроны, медицинские диагностические системы с поддержкой изображений, системы идентификации фото- и видеоизображений, интеллектуальные системы голосового взаимодействия и перевода, а также других «умных» продуктов для построения гармоничного общества;

2) сосредоточение на разработке «умных» датчиков, микросхем нейронных сетей и платформ с открытым исходным кодом для консолидации программной и аппаратной основы развития индустрии ИИ;

3) углубление развития «умного» производства, поощрение исследований и применения технологий ИИ нового поколения во всех областях промышленности, расширение возможностей такого производства;

4) создание отраслевых систем государственной поддержки, таких как библиотека отраслевых учебных материалов, стандартизованная платформа для тестирования и обслуживания интеллектуальной собственности, «умной» инфраструктуры, соблюдения норм сетевой безопасности и т.д., а также улучшение среды для ИИ-разработок.

Решение указанных задач, по мнению руководства КНР, позволит к 2030 г. превзойти США и стать мировым лидером в области искусственного интеллекта.

Таким образом, отмечается тенденция постоянного растущего влияния развиваемых технологий ИИ на разработку современных видов ВВСТ. По утверждению ряда американских экспертов, внедрение ИИ в системы управления и вооружений оценивается так же высоко, как изобретение пороха и ядерного оружия, как фактор, способный полностью изменить парадигму вооруженной борьбы.

Статья подготовлена к изданию при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания на 2025 г. № 075-00682-25-02.

Список литературы

1. Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 10.10.2019 № 490. URL: <http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/АН4х6HgKWANwVtMOfPDhcbRpvd1HCCsv.pdf> (дата обращения: 27.01.2025).
2. National Defense Authorization Act (NDAA) for Fiscal Year 2019. Section 238. Joint artificial intelligence research, development, and transition activities. URL: <https://www.congress.gov/115/bills/hr5515/BILLS-115hr5515enr.pdf> (дата обращения: 27.01.2025).
3. Истанов В. Процесс внедрения зарубежными странами технологий искусственного интеллекта в системы вооружения // Зарубежное военное обозрение. 2024. № 9. С. 3–11.
4. National Defense Strategy. URL: <https://www.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/2018-National-Defense-Strategy-Summary.pdf> (дата обращения: 29.01.2025).
5. Summary of the 2018 Department of Defense Artificial Intelligence Strategy. Harnessing AI to Advance Our Security and Prosperity // U.S. Department of Defense. 2018.
6. China's National Defense in the New Era. The State Council Information Office of the People's Republic of China. July 2019. URL: <https://www.chinadaily.com.cn/specials/whitepaperonnationaldefenseinnewera.pdf> (дата обращения: 30.01.2025).
7. Congressional Research Service (CRS report). The Army's Project Convergence. June 2, 2022. URL: <https://sgp.fas.org/crs/weapons/IF11654.pdf> (дата обращения: 03.02.2025).
8. Congressional Research Service (CRS report). Artificial Intelligence and National Security. November 10, 2020. URL: <https://sgp.fas.org/crs/natsec/R45178.pdf> (дата обращения: 03.02.2025).
9. Joint Artificial Intelligence Center Has Substantially Grown To Aid The Warfighter. U.S. Department of Defense. November 18, 2020. URL: <https://www.defense.gov/News/News-Stories/Article/Article/2418970/joint-artificial-intelligence-center-has-substantially-grown-to-aid-the-warfigh> (дата обращения: 04.02.2025).
10. Integrated Battle Command System (IBCS), USA. May 5 2023. URL: <https://www.army-technology.com/projects/integrated-battle-command-system-ibcs-usa/?cf-view> (дата обращения: 04.02.2025).
11. Multi-Domain Command and Control. Maintaining Our Asymmetric Advantage. URL: <https://www.japcc.org/articles/multi-domain-command-and-control> (дата обращения: 05.02.2025).
12. Loyal Wingman And The Future Of The UAV. 10, December 2022. URL: <https://www.uavnavigation.com/company/blog/loyal-wingman-and-future-uav> (дата обращения: 05.02.2025).
13. Изюмов Д.Б., Кондратюк Е.Л., Карпенко В.И. «Научно-технические задачи, решаемые в США при организации совместного боевого применения пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов». Сборник «Инноватика и экспертиза» ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, выпуск 1(37), 2024 год, стр. 109–123 (дата обращения: 06.02.2025).
14. DARPA awards Artificial Intelligence tactical autonomy contract to BAE Systems. September 12, 2024. URL: <https://aerospaceglobalnews.com/news/darpa-awards-artificial-intelligence-tactical-autonomy-contract-to-bae-systems> (дата обращения: 06.02.2025).
15. Hybrid AI-Powered Navigation for Uncrewed Vehicles. <https://bavovna.ai>. URL: <https://bavovna.ai/ai-navigation-kit> (дата обращения: 06.02.2025).
16. Струкова П.Э. Искусственный интеллект в Китае: современное состояние отрасли и тенденции развития // Вестник Санкт-Петербургского университета. Востоковедение и африканистика. 2020 год. Т. 12. Вып. 4. Стр. 588–606. URL: <https://dspace.spbu.ru/bitstream/11701/23905/1/588-606.pdf> (дата обращения: 07.02.2025).
17. Leading 20 artificial intelligence (AI) countries in 2023, by research capacity. September 16, 2024. URL: <https://www.statista.com/statistics/1410523/top-20-ai-countries-by-research-capacity/#:~:text=The%20United%20States%20had%20the,the%20ranking%20hailing%20from%20Europe> (дата обращения: 07.02.2025).
18. Full Translation: China's 'New Generation Artificial Intelligence Development Plan' (2017). URL: <https://digichina.stanford.edu/work/full-translation-chinas-new-generation-artificial-intelligence-development-plan-2017> (дата обращения: 08.02.2025).

References

1. *Natsional'naya strategiya razvitiya iskusstvennogo intellekta na period do 2030 goda. Utverzhdena Ukazom Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 10.10.2019 No. 490* [National strategy for the development of artificial intelligence for the period up to 2030. Approved by Decree of the President of the Russian Federation No. 490 of 10.10.2019]. Available at: http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru_AH4x6HgKWANwVtMOfPDhcbRpvd1HCCsv.pdf (date of access: 27.01.2025).
2. National Defense Authorization Act (NDAA) for Fiscal Year 2019. Section 238. Joint artificial intelligence research, development, and transition activities. Available at: <https://www.congress.gov/115/bills/hr5515/BILLS-115hr5515enr.pdf> (date of access: 27.01.2025).
3. Istanov V. (2024) *Protsess vnedreniya zarubezhnymi stranami tekhnologiy iskusstvennogo intellekta v sistemy vooruzheniya* [The process of introducing artificial intelligence technologies into weapons systems by foreign countries] *Zarubezhnoe voennoe obozrenie* [Foreign Military Review]. No. 9. P. 3–11.
4. National Defense Strategy. Available at: <https://www.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/2018-National-Defense-Strategy-Summary.pdf> (date of access: 29.01.2025).
5. Summary of the 2018 Department of Defense Artificial Intelligence Strategy. Harnessing AI to Advance Our Security and Prosperity. U.S.O Department of Defense. 2018.
6. China's National Defense in the New Era. The State Council Information Office of the People's Republic of China. July 2019. Available at: <https://www.chinadaily.com.cn/specials/whitepaperonnationaldefenseinnewera.pdf> (date of access: 30.01.2025).
7. Congressional Research Service (CRS report). The Army's Project Convergence. June 2, 2022. Available at: <https://sgp.fas.org/crs/weapons/IF11654.pdf> (date of access: 03.02.2025).
8. Congressional Research Service (CRS report). Artificial Intelligence and National Security. November 10, 2020. Available at: <https://sgp.fas.org/crs/natsec/R45178.pdf> (date of access: 03.02.2025).
9. Joint Artificial Intelligence Center Has Substantially Grown To Aid The Warfighter. U.S. Department of Defense. November 18, 2020. Available at: <https://www.defense.gov/News/News-Stories/Article/Article/2418970/joint-artificial-intelligence-center-has-substantially-grown-to-aid-the-warfigh> (date of access: 04.02.2025).
10. Integrated Battle Command System (IBCS), USA. May 5 2023. Available at: <https://www.army-technology.com/projects/integrated-battle-command-system-ibcs-usa/?cf-view> (date of access: 04.02.2025).
11. Multi-Domain Command and Control. Maintaining Our Asymmetric Advantage. Available at: <https://www.japcc.org/articles/multi-domain-command-and-control> (date of access: 05.02.2025).
12. Loyal wingman and the future of the UAV. 10, December 2022. Available at: <https://www.uavnavigation.com/company/blog/loyal-wingman-and-future-uav> (date of access: 05.02.2025).
13. Izyumov D.B., Kondratyuk E.L., Karpenko V.I. (2024) «*Nauchno-tekhnicheskie zadachi, reshaemye v SShA pri organizatsii sovместного боевого primeneniya pilotiruemyykh i bespilotnykh letatel'nykh apparatov*» [Scientific and technical problems solved in the USA in the organization of joint combat use of manned and unmanned aerial vehicles] *Sbornik «Innovatika i ekspertiza»* [Innovation and Expert Examination]. Issue 1 (37). P. 109–123 (date of access: 06.02.2025).
14. DARPA awards Artificial Intelligence tactical autonomy contract to BAE Systems. September 12, 2024. Available at: <https://aerospaceglobalnews.com/news/darpa-awards-artificial-intelligence-tactical-autonomy-contract-to-bae-systems> (date of access: 06.02.2025).
15. Hybrid AI-Powered Navigation for Uncrewed Vehicles. Available at: <https://bavovna.ai>; <https://bavovna.ai/ai-navigation-kit> (date of access: 06.02.2025).
16. Strukova P.E. (2020) *Iskusstvennyy intellekt v Kitae: sovremennoe sostoyanie otrasli i tendentsii razvitiya* [Artificial intelligence in China: current state of the industry and development trends] *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Vostokovedenie i afrikanistika* [Bulletin of the Saint Petersburg State University. Oriental and African Studies]. Vol. 12. Issue 4. P. 588–606. Available at: <https://dspace.spbu.ru/bitstream/11701/23905/1/588-606.pdf> (date of access: 07.02.2025).

17. Leading 20 artificial intelligence (AI) countries in 2023, by research capacity. September 16, 2024. Available at: <https://www.statista.com/statistics/1410523/top-20-ai-countries-by-research-capacity/#:~:text=The%20United20States%20had%20the,the%20ranking%20hailing%20from%20Europe> (date of access: 07.02.2025).

18. Full Translation: China's «New Generation Artificial Intelligence Development Plan» (2017). Available at: <https://digichina.stanford.edu/work/full-translation-chinas-new-generation-artificial-intelligence-development-plan-2017> (date of access: 08.02.2025).

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ И РАЗВИТИЯ КОМПЛЕКСОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ ВОЗДУШНОГО БАЗИРОВАНИЯ США

Д.Б. Изюмов, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, izyumov@extech.ru

Е.Л. Кондратюк, нач. отдела ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, kel@extech.ru

В.И. Карпенко, глав. аналитик центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, karpenkovi@extech.ru

Рецензент: С.В. Стрельников, АО Научно-исследовательский институт точных приборов, д-р техн. наук, orionsvs@mail.ru

В статье представлены результаты анализа состояния и перспектив развития специализированной авиации военно-воздушных сил (ВВС), военно-морских сил (ВМС) и Корпуса морской пехоты (КМП) США, а также анализ программных элементов Главной научно-технической программы министерства обороны США в области разработки, создания и модернизации средств и комплексов радиоэлектронной борьбы воздушного базирования.

Основное внимание уделено самолету ведения разведки и РЭБ EA-37B Compass Call ВВС США, самолету РЭБ EA-18G Growler ВМС США и комплексу радиоэлектронной борьбы (РЭБ) тактической авиации следующего поколения NGJ (Next Generation Jammer) для самолетов ВМС и КМС США.

Ключевые слова: радиоэлектронная борьба, радиоэлектронное подавление, радиоэлектронное средство, специализированный самолет, бортовое радиоэлектронное оборудование, программный элемент, система, комплекс, направление развития.

THE MAIN DIRECTIONS OF THE DEVELOPMENT OF MEANS AND DEVELOPMENT OF AIR-BASED ELECTRONIC WARFARE SYSTEMS IN THE USA

D.B. Izyumov, Deputy Director of Centre, SRI FRCEC, izyumov@extech.ru

E.L. Kondratyuk, Head of Department, SRI FRCEC, kel@extech.ru

V.I. Karpenko, Chief Analyst, SRI FRCEC, karpenkovi@extech.ru

The article presents the results of an analysis of the state and prospects for the development of specialized aviation of the United States Air Force (Air Force), Navy (Navy) and Marine Corps (KMP), as well as an analysis of the program elements of the Main scientific and technical Program of the US Department of Defense in the field of development, creation and modernization of electronic warfare facilities and complexes air-based.

The main focus is on the EA-37B Compass Call reconnaissance and electronic warfare aircraft of the US Air Force, the EA-18G Growler electronic warfare aircraft of the US Navy and the NGJ (Next Generation Jammer) tactical aviation electronic warfare system for the US Navy and Navy.

Keywords: electronic warfare, electronic suppression, electronic means, specialized aircraft, avionics, software element, system, complex, direction of development.

В США под радиоэлектронной борьбой понимается использование всех участков электромагнитного спектра в целях повышения эффективности боевого применения своих сил и средств, а также снижения возможностей противника в управлении его силами и средствами. Военно-политическим руководством США радиоэлектронная борьба рассматривается как неотъемлемая часть ведения боевых действий. При этом мероприятия РЭБ носят как обеспечи-

вающий и оборонительный, так и наступательный характер и могут проводиться как при вооруженном противоборстве, так и в ходе операций, не связанных с ведением боевых действий.

Для руководства Министерства обороны США и их союзников по блоку НАТО проведение воздушно-космических операций с использованием освоенных диапазонов электромагнитных волн является одной из основополагающих задач. В этих условиях актуальным является решение задач обнаружения, идентификации, контроля электромагнитных сигналов источников излучения и формирования эффективного противодействия информационным каналам противника в рамках региональных и глобальных информационных систем C⁴ISR (Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance).

В США и странах – членах НАТО организационно РЭБ является одной из составляющих информационных операций. Сущность РЭБ заключается во временном или постоянном снижении эффективности применения средств разведки, оружия, боевой техники противника путем радиоэлектронного или огневого подавления (уничтожения) его радиоэлектронного оборудования, систем управления, разведки, связи. Таким образом, РЭБ может включать как временную дезорганизацию работы радиоэлектронных средств (РЭС) противника путем постановки помех, так и полное уничтожение данных систем (огневое поражение или захват). Также РЭБ включает меры по радиоэлектронной защите (РЭЗ) своих информационных систем и по радиоэлектронной разведке.

Среди ведущих стран мира США обладают наивысшим уровнем технического развития и наиболее широкой номенклатурой состоящих на вооружении средств и систем РЭБ (основные американские компании-производители средств РЭБ различного вида базирования – L3Harris Technologies, Northrop Grumman, Raytheon, SRC и Lockheed Martin). Производственная база США позволяет производить системы РЭБ всех существующих типов и достаточно эффективно бороться со всеми существующими и перспективными радиоэлектронными средствами, включая оптико-электронные. В настоящее время наиболее современными средствами и системами (комплексами) РЭБ вооруженных сил США являются [1]:

- комплекс РЭБ тактической авиации следующего поколения NGJ (Next Generation Jammer) в виде подвесной контейнерной системы для самолетов EA-18G Growler и F-35 различных модификаций, преимущественно ВМС и Корпуса морской пехоты США [2];

- комплекс разведки и РЭБ (РиРЭБ) воздушного базирования Compass Call на базе самолета EA-37B (Gulfstream G-550), начавший поступать на вооружение ВВС США с 2024 г. [3];

- комплекс индивидуальной радиоэлектронной защиты надводных кораблей AN/SLQ-32(V)7 (или SEWIP¹ Block III) [4];

- единая интегрированная система РиРЭБ IEWS (Integrated Electronic Warfare System) сухопутных войск (СВ) США, в состав которой входят многофункциональный комплекс радиоэлектронного подавления MFEW (Multi-Function Electronic Warfare), комплекс радиоэлектронной защиты DEA (Defensive Electronic Attack) и комплекс (модуль) планирования применения сил и средств РЭБ EWPMТ (Electronic Warfare Planning and Management Tools), предназначенный для эффективного управления единой системой РЭБ и ее взаимодействия с другими средствами РЭБ на театре военных действий [5, 6];

- специализированные наземные комплексы с интегрированной системой радио- и радиотехнической разведки, а также кибер- и радиоэлектронной борьбы TLS-BCT (на уровне бригады)²

¹ Сокращение от Surface Electronic Warfare Improvement Program – программа поэтапной модернизации корабельного интегрированного комплекса РЭБ AN/SLQ-32(V), предназначенного для защиты надводных кораблей ВМС США всех основных классов.

² Комплекс TLS-BCT (Terrestrial Layer System-Brigade Combat Team) предназначен для ведения радиоразведки в диапазонах от 3 до 3000 МГц, радиотехнической разведки в диапазонах от 3 до 30 ГГц и радиоэлектронного подавления работающих РЭС противника на глубину до 30 км. Экипаж комплекса – 8 чел. Оборудование комплекса для бронетанковых бригад СВ США размещается на базе гусе-

СВ США) и TLS-EAB (на уровне выше бригады СВ США³), принимаемые на вооружение сухопутных войск США с 2022–2023 гг. [7].

К настоящему времени в США не менее 90% всех вооружений и военной техники ведения РЭБ размещены в военно-воздушных силах и авиации военно-морских сил страны. При этом на исследования, разработку, создание, модернизацию и проведение необходимых испытаний средств и комплексов РЭБ воздушного базирования по линии министерств ВВС и ВМС США ежегодно направляется около 2,8–3,4 млрд долл. [8, 9].

Военное руководство США и ведущих зарубежных стран в целом рассматривает применение авиационных комплексов и средств РЭБ (таких, как специализированные самолеты разведки и РЭБ EA-37B, EC-130H Compass Call, EA-18G Growler, а также комплекс подвешенной контейнерной системы РЭП NGJ) в рамках единой эшелонированной системы боевого обеспечения. В ходе боевых действий и проведения многодоменных операций авиационные силы и средства РЭБ будут являться частью единого информационно-коммуникационного пространства (концепция ведения сетецентрической войны – Network-Centric Warfare), что позволит осуществлять эффективное управление и оптимальное целераспределение сил и средств по объектам действий. При этом основными объектами действий авиационных средств и комплексов РЭБ являются наземные радиолокационные станции (РЛС) дальнего обнаружения и РЛС ЗРК систем ПВО противника, мобильные средства связи, передачи данных и автоматизированные системы управления (АСУ) войсками и оружием, РЭС управления оружием мобильных зенитных средств малой и средней дальности.

Основные НИОКР в области разработки, создания и развития средств РЭБ воздушного базирования проводятся в рамках программных элементов 6-й Главной научно-технической программы Министерства обороны США. По состоянию на 2024 г. стоит выделить следующие 11 открытых программных элементов (ПЭ) в рассматриваемой области.

1. По линии министерства военно-воздушных сил США – пять ПЭ [10, 11]:
 - ПЭ 0603270F «Технологии боевых электронных систем» (Electronic Combat Technology);
 - ПЭ 0604270F «Разработки в области РЭБ» (Electronic Warfare Development);
 - ПЭ 0207171F «Активно-пассивная система предупреждения об угрозах и обеспечения живучести самолета F-15E» (EPAWSS – Eagle Passive/Active Warning and Survivability System);
 - ПЭ 0207253F «Развитие и модернизация специального бортового оборудования специализированного комплекса разведки и РЭБ Compass Call» (Compass Call);
 - ПЭ 0207040F «Подвесная система РЭБ для самолетов 4-го и 5-го поколений» (Multi-Platform Electronic Warfare Equipment).
2. По линии министерства военно-морских сил США – шесть ПЭ [12, 13]:
 - ПЭ 0603271N «Разведывательные датчики, средства РЭБ и связи» (Electromagnetic Systems Advanced Technology);

ничной бронированной многоцелевой машины, для бригад боевых бронированных машин Stryker – на базе медицинской эвакуационной машины M1133, а для пехотных бригад – на шасси автомобиля с противоминной защитой. Имеется модификация комплекса TLS-BCT Manpack, размещаемая в пехотном ранце для бойца поля боя.

³ Комплекс TLS-EAB (Terrestrial Layer System-Echelons Above Brigade) предназначен для ведения радиоразведки в диапазонах от 3 до 3000 МГц, радиотехнической разведки в диапазонах от 3 до 30 ГГц и радиоэлектронного подавления работающих РЭС противника на глубину до 70 км в интересах дивизии и корпуса СВ США. Оборудование комплекса размещается на двух колесных тактических автомобилях Oshkosh серии M1087 A1R MTV с фургонами. В одной машине располагаются аппаратура радиоэлектронной разведки, постановки помех и беспилотные летательные аппараты (БЛА), которые планируется использовать для обнаружения работающих РЭС противника, определения координат, выдачи целеуказаний артиллерии и авиации, а также для нарушения их работы аппаратурой РЭБ. В другом автомобиле – аппаратура РЭП, предназначенная для защиты важных объектов путем постановки помех, подключения к беспроводным сетям и их взлома, выдачи ложных сигналов для вывода из строя БЛА противника, управляемых на траектории полета ракет и артиллерийских снарядов с радиовзрывателями.

- ПЭ 0604269N «Модернизация специализированных самолетов РЭБ EA-18G» (EA-18 Squadrons);
- ПЭ 0604270N «Разработки в области РЭБ» (Electronic Warfare Development);
- ПЭ 0604272N «Тактическая система направленного оптико-электронного противодействия» (Tactical Air Directional Infrared Countermeasures – TADIRCM);
- ПЭ 0604274N «Система радиоэлектронного подавления (РЭП) следующего поколения» (Next Generation Jammer);
- ПЭ 0604282N «Система РЭП следующего поколения – станция РЭП нижнего диапазона» (Next Generation Jammer (NGJ) Increment II).

В вооруженных силах США наиболее представительными образцами состоящих на вооружении специализированных самолетов РЭБ (специализированных комплексов РЭБ воздушного базирования) являются самолеты EC-130H Compass Call и EA-18G Growler. В табл. 1 представлены их основные тактико-технические характеристики, состав основного радиоэлектронного оборудования, вооружения (если таковое имеется) и другая актуальная информация.

Таблица 1

Основные характеристики состоящих на вооружении США специализированных самолетов радиоэлектронной борьбы (специализированных комплексов РЭБ воздушного базирования)

Характеристика	EC-130H Compass Call	EA-18G Growler
Предназначение самолета	Ведение радиоразведки и обеспечение радиоэлектронного подавления каналов управления, связи, навигации и сигналов РЛС в широком диапазоне частот при нахождении вне зоны поражения огневых средств ПВО противника (дезорганизация управления системы ПВО противника)	Обеспечение снижения потерь прикрываемых боевых порядков авиации от зенитных средств противника, ведение радиотехнической разведки, обеспечение пеленгования, идентификации и РЭП источников электромагнитного излучения в широком диапазоне частот, постановка помех РЛС обнаружения, сопровождения воздушных целей, управления огнем и наведения зенитных огневых средств, а также системам связи АСУ ПВО противника, уничтожение РЛС противника противорадиолокационными ракетами
Принадлежность к виду вооруженных сил и количество стоящих на вооружении самолетов, по данным World Air Forces 2025	4 самолета на вооружении ВВС США	153 самолета на вооружении ВМС США (EA-18G может базироваться как на обычных аэродромах, так и на борту авианосцев)
Создан на базе:	– военно-транспортного самолета C-130 Hercules компании Lockheed Martin	– многоцелевого истребителя F/A-18E/F Super Hornet компании Boeing
Использование в других странах	–	На вооружении ВВС Австралии состоят 12 самолетов EA-18G
Год принятия на вооружение	1982 (с 2011 г. – крайняя модификация Block 35)	2009
Год снятия с вооружения	Поэтапное (в 2020–2021 гг. было снято с вооружения ВВС США 2 самолета EC-130H, в 2022–2023 гг. – еще 3 самолета, а в 2024 г. – сразу 5 самолетов EC-130H)	После 2030 г.

Окончание таблицы 1

Характеристика	EC-130H Compass Call	EA-18G Growler
Экипаж, чел.	4 и 9 операторов бортовых систем	2 (пилот и оператор вооружения и средств РЭБ)
Взлетная масса максимальная, кг	70 300	29964
Масса пустого самолета, кг	45 813	15 850
Максимальная скорость полета на высоте, км/ч	640	1960
Дальность полета, км	10 600	700–900
Практический потолок, м	7600	15 000
Количество двигателей и тип силовой установки	4×ТВД Allison T56-A-15	2×ТРДДФ F414-GE-400
Максимальная тяга одного двигателя	4500 л.с.	9980 кг
Состав основного радиоэлектронного оборудования самолета	Автоматизированный комплекс РЭП Rivet Fire (ведение радиоразведки в диапазоне 20–1500 МГц, постановка шумовых прицельных помех по частоте); комплект передатчиков помех мощностью 800 Вт (одновременное подавление до 20 радиолиний в диапазоне частот 20–1000 МГц); контейнеры с аппаратурой РЭП SPEAR – Special Purpose Emitter Array (создание помех системам связи в диапазонах 0,03–3 ГГц). Бортовой комплекс обороны также включает систему предупреждения о ракетном нападении AN/AAR-54 и автомат отстрела ИК-ловушек и дипольных отражателей AN/ALE-47	БРЛС с АФАР AN/APG-79; система РЭБ AN/ALQ-99F(V) ICAP III, включающая три контейнерные станции помех; станцию РТР AN/ALQ-219; станцию РЭП радиосвязи AN/ALQ-227. Комплекс РЭБ AN/ALQ-99F обеспечивает постановку помех в диапазоне от 64 МГц до 18 ГГц. Бортовой комплекс обороны также включает СПО AN/ALR-67(V)3 и автомат отстрела ИК-ловушек AN/ALE-47
Основное вооружение самолета	Отсутствует	Две противорадиолокационные УР AGM-88 HARM и две УР класса «воздух-воздух» AIM-120 AMRAAM (самолет имеет 11 точек подвески, из которых две выделены под подвесные топливные баки по 1817 л (1454 кг) топлива каждый, три – под контейнеры системы РЭБ нижнего, среднего и верхнего диапазонов частот, и еще две – под контейнеры станции РТР на законцовках крыла)

Самолет ведения разведки и РЭБ EC-130H Compass Call и его преемник EA-37B Compass Call ВВС США

Самолет РПРЭБ EC-130H Compass Call, несмотря на многочисленные модернизации, является морально устаревшим. Его крайняя модификация Block 35 стоит на вооружении ВВС США с 2011 г., а с 2020 г. началось поэтапное (плановое) списание наиболее устаревших бортов. До 2020 г. всего на вооружении ВВС США находилось 14 единиц EC-130H, за период 2020–2024 гг. было списано 10 самолетов. Ожидается, что к 2026–2027 гг. будут списаны все оставшиеся на вооружении 4 самолета EC-130H Compass Call. Взамен списываемых самолетов EC-130H с 2024 г. на вооружение ВВС США начали поступать новые самолеты РПРЭБ EA-37B Compass Call, создаваемые на базе коммерческого самолета бизнес-класса Gulfstream G-550. К началу 2025 г., по данным World Air Forces 2025, на вооружение ВВС США поставлены три самолета РПРЭБ EA-37B Compass Call, однако их начальная оперативная готовность (initial operating capability) будет достигнута в 2026 г. [2, 14]. При этом первый самолет EC-37B⁴ поступил в распоряжение ВВС США еще в сентябре 2023 г. в целях проведения совместных опытно-конструкторских и эксплуатационных испытаний с представителями компаний-разработчиков и обновления комплекса бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) нового самолета L3Harris Technologies (США) и BAЕ Systems (Великобритания).

Руководство ВВС США планирует приобрести и поставить на вооружение всего 10 новейших самолетов РПРЭБ EA-37B Compass Call (вместо ранее планируемых 14 самолетов). Оставшиеся (закупленные министерством ВВС США) семь самолетов могут поступить на вооружение в 2025–2026 гг. Все самолеты EA-37B войдут в состав 55-й группы РЭБ 55-го авиакрыла ВВС США, будут размещены и обслуживаться на базе ВВС США Дэвис-Монтан (Davis-Monthan Air Force Base) в г. Тусон, шт. Аризона.

С 2017 г. и по настоящее время специалистами компании L3Harris Technologies продолжают работы по переносу и качественному обновлению комплекса РПРЭБ Compass Call с самолета EC-130H на самолет Gulfstream G-550. По оценкам, около 70 % всего БРЭО комплекса РПРЭБ Compass Call останется прежним, однако, другие 30 % будут значительно обновлены с учетом современного уровня технического развития и перехода на новую компонентную базу, что существенно сократит массогабаритные характеристики приборов и систем. В ходе установки комплекса РЭБ на новую воздушную платформу производится совершенствование основных блоков изделия (блоков усилителей мощности, формирователей помех) и антенно-фидерных устройств, что приведет к улучшению качества радиоэлектронной защиты собственных систем управления. Наряду с этим будет повышена дальность действия системы радиоэлектронного подавления, а также будет увеличен ее диапазон постановки помех. Также производится модернизация средств связи для организации высокоскоростного обмена данными с наземными командными пунктами и защиты радиоэлектронной аппаратуры от электромагнитного импульса. В результате проведенных работ новый самолет РПРЭБ EA-37B Compass Call способен будет выполнять задачи по ведению радио- и радиотехнической разведки (выявлять радиосигналы систем противника, определять их параметры и источник), радиоэлектронному подавлению систем управления и связи противника в тактическом звене управления (для передачи помех будут использоваться крупногабаритные активные фазированные антенные решетки (АФАР) на бортах фюзеляжа), защите своих собственных систем связи и управления, а также сопровождению ударных воздушных операций.

За счет использования нового самолета-носителя будет значительно продлен срок службы всего комплекса РПРЭБ, а также будут улучшены эксплуатационные показатели. Кроме

⁴ В ноябре 2023 г. боевое авиационное командование ВВС США (USAF Air Combat Command) переименовало самолет EC-37B в EA-37B.

того, новая воздушная платформа на базе Gulfstream G-550 имеет более высокие летно-технические характеристики, чем базовая платформа C-130 Hercules (рис. 1, табл. 2) [15, 16].



Рис. 1. Самолеты EC-130H (слева) и EA-37B (справа) ВВС США с комплексом ведения разведки и радиоэлектронной борьбы Compass Call

Таблица 2

Сравнительные летно-технические характеристики самолетов РнРЭБ EC-130H Compass Call и EA-37B Compass Call ВВС США

Характеристика	EC-130H Compass Call	EA-37B Compass Call
Масса пустого самолета, кг	45 813	Около 22 000
Крейсерская скорость полета, км/ч	480–490	965
Радиус действия, км	3694	10 150
Практический потолок, м	7600	15 500
Длина самолета, м	29,3	29,4
Размах крыльев, м	39,7	28,5
Количество двигателей и тип силовой установки	4 одновальных турбовинтовых двигателя Allison T56-A-15 компании Allison Engine Company (ныне – компания Rolls-Royce)	2 двухвальных турбовентиляторных двигателя BR710C4-11 компании Rolls-Royce
Максимальная тяга одного двигателя	4500 л.с.	6980 кг
Экипаж, чел.	4 и 9 операторов бортовых систем	2 и 7 операторов бортовых систем
Дополнительные сведения	С 2002 по 2015 гг. самолеты EC-130H Compass Call, участвовавшие в операциях США «Несокрушимая свобода» и «Страж свободы» в Афганистане, налетали более 40 тыс. часов в ходе 6900 боевых вылетов	Масса самолета EA-37B с комплексом РнРЭБ Compass Call и его эксплуатационные расходы снижены на 50 % по сравнению с EC-130H Compass Call

Специалисты компании BAE Systems, отвечающие за разработку и совершенствование целевого БРЭО самолета EA-37B, заявляют, что обновленный комплекс РПЭБ Compass Call построен по технологии Small Adaptive Bank of Electronic Resources (SABER), предполагающей открытую системную архитектуру, которая позволит быстро интегрировать новые электронные технологии посредством обновлений программного обеспечения, а не реконфигурации бортового оборудования. Применение технологии SABER позволит в будущем многократно модернизировать и существенно обновлять комплекс РПЭБ Compass Call для противодействия возникающим угрозам.

В целом, по заявлениям специалистов и экспертов ВВС США, концепция эксплуатации и боевого применения новейших самолетов РПЭБ EA-37B Compass Call будет аналогичной заменяемым устаревшим самолетам EC-130H. Основная тактика прорыва ПВО-ПРО высокотехнологичного противника (обеспечение радиоэлектронного подавления и дезорганизация управления системы ПВО-ПРО противника) при использовании сил и средств ВВС США будет заключаться в совместном боевом применении самолетов РПЭБ EA-37B Compass Call и многоцелевых ударных истребителей F-15EX и F-35A, обладающих также собственными бортовыми средствами и комплексами РЭБ. Так, в многоцелевых истребителях 5-го поколения F-35A ВВС США интегрированная бортовая система РЭБ AN/ASQ-239 Barracuda сопряжена с бортовой многофункциональной РЛС AN/APG-81 с АФАР, ресурсы которой значительно повышают возможности этих самолетов по радиоэлектронному подавлению РЭС противника.

Самолет РЭБ EA-18G Growler ВМС США и комплекс РЭБ тактической авиации следующего поколения NGJ (Next Generation Jammer) для самолетов ВМС и Корпуса морской пехоты США

К настоящему времени самолет РЭБ EA-18G Growler ВМС США является наиболее массовым специализированным образцом авиационной техники ВМС США для постановки активных радиопомех системам радиосвязи и радиолокационным станциям противника. В декабре 2023 г. издание The National Interest назвало палубный самолет РЭБ EA-18G Growler самым важным самолетом ВМС США [17]. Он оснащен тактической системой РЭБ AN/ALQ-99F(V), модернизированной по программе ICAP III (Improve Capability III), включающей три подвесные контейнерные станции помех нижнего, среднего и верхнего диапазонов частот.

Американские специалисты утверждают, что система РЭБ AN/ALQ-99F(V) ICAP III устарела и не в полной мере соответствует современным, а тем более перспективным требованиям. Среди наиболее критичных проблем эксперты отмечают недостаточные мощность и надежность передатчиков помех для эффективного подавления современных РЛС, недостаточную электромагнитную совместимость с БРЭО самолета-носителя, а также недостаточный для единственного оператора самолета уровень автоматизации системы управления бортовым специализированным оборудованием РЭБ.

Ввиду обозначенных проблем проводится полномасштабная реализация программы разработки комплекса РЭБ тактической авиации следующего поколения NGJ (Next Generation Jammer) для самолетов ВМС и КМП США, которая началась еще с 2012 г. и продолжается по настоящее время. Эта программа прежде всего предполагает поэтапную замену станций AN/ALQ-99F(V) ICAP III на самолетах EA-18G к 2027–2028 гг. [18].

Общими требованиями к системе NGJ являются:

- высокий энергетический потенциал, в 10 раз превосходящий аналогичный показатель системы AN/ALQ-99;
- возможность одновременного прицельного по частоте и направлению РЭП нескольких различных РЭС с различным местоположением;
- возможность адаптивного РЭП;
- управление поляризацией излучаемых помеховых сигналов;
- модульность и открытая архитектура конструкции.

В целом комплекс РЭБ NGJ имеет широкий частотный диапазон и высокие энергетические возможности благодаря использованию активных фазированных решеток на основе СВЧ-транзисторов из нитрида галлия (GaN) и турбогенераторов мощностью более 100 кВт. В ближнесрочной перспективе авиационная подвесная контейнерная система РЭП, получившая обозначение AN/ALQ-249 NGJ, будет иметь три вида контейнерных передатчиков помех (станций помех), которые функционируют в различных частотных диапазонах [19–21]:

- станция РЭП нижнего диапазона – от 100 МГц до 2 ГГц – AN/ALQ-249(V)2 NGJ-LB (Low-Band);
- станция РЭП среднего диапазона – от 2 до 6 ГГц – AN/ALQ-249(V)1 NGJ-MB (Mid-Band);
- станция РЭП верхнего диапазона – от 6 до 18 ГГц – AN/ALQ-249(V)3 NGJ-HB (High-Band).

Указанные станции РЭП предназначены для противодействия РЛС обнаружения, наведения и целеуказания, средствам связи и обмена данными противника; противодействия РЛС обнаружения, наведения, целеуказания и управления оружием систем ПВО противника; противодействия РЛС управления огнем ряда современных и перспективных зенитно-ракетных комплексов, головам самонаведения, а также дистанционным радиовзрывателям зенитно-управляемых ракет.

В связи с высокой сложностью и затратностью проводимых по программе NGJ НИОКР, а также планируемым внедрением концепции модульной открытой архитектуры системы разработка указанных видов станций контейнерной системы РЭП AN/ALQ-249 NGJ ведется последовательно в три этапа наращивания возможностей, исходя из приоритетов противодействия и важности различных РЭС в составе систем управления войсками и оружием. Так, приоритетным считается средний диапазон, второму этапу соответствует нижний диапазон, третьему – верхний диапазон. В ближайшее время планируется принятие на вооружение и серийное производство станций среднего диапазона AN/ALQ-249(V)1 NGJ-MB. По заявлениям командования авиационных систем ВМС США (NAVAIR), к настоящему времени проведен целый комплекс наземных лабораторных и полигонных тестов (более 5000 часов), летных и дополнительных испытаний (более 300 часов), в ходе которых подтверждено достижение основных эксплуатационных характеристик этих станций. Также проведены необходимые доработки самолета-носителя EA-18G для использования AN/ALQ-249(V)1 NGJ-MB.

В целом текущие планы руководства ВМС США предусматривают к 2027–2028 гг. переоснащение всех 153 состоящих на вооружении ВМС США самолетов EA-18G системой РЭП AN/ALQ-249 NGJ из расчета на каждый самолет по два стандартных комплекта подвесных контейнеров нижнего, среднего и верхнего частотных диапазонов. На каждом авианосце ВМС США (по данным Global Firepower, по состоянию на начало 2025 г. на вооружении ВМС США находилось 11 авианосцев) планируется иметь по одной авиационной эскадрилье РЭБ в составе пяти самолетов EA-18G [22].

Что касается авиации КМП США, то последний самолет РЭБ EA-6B Prowler был списан в марте 2019 г., причем без замены. Американские эксперты признали, что такое решение было слишком поспешным, поэтому в ближней перспективе для решения задач РЭБ командование КМП США предусматривает оснащение многоцелевых истребителей F-35B станциями РЭП AN/ALQ-249 комплекса РЭБ NGJ. В руководстве компании Lockheed Martin заявили, что для этого потребуются минимальные изменения в конструкции и программном обеспечении самолетов, а носителями контейнеров NGJ могут быть любые модификации многоцелевого истребителя F-35 без необходимости разрабатывать специализированную версию самолета РЭБ данного типа. Так, например, потенциально самолет F-35B может нести станции РЭП AN/ALQ-249 комплекса РЭБ NGJ на двух средних подкрыльевых узлах подвески и центральном подфюзеляжном вместо контейнера с пушкой. Более того, коман-

дование авиации КМП считает, что самолеты F-35B достаточно будет оснастить только станциями РЭП среднего и/или нижнего диапазона, а в верхнем диапазоне подавление планируется производить бортовой РЛС самолета AN/APG-81 с АФАР.

Предполагается, что для самолетов EA-18G и F-35B, оснащенных системой радиопомех NGJ, основными будут являться внешние источники информации о радиоэлектронной обстановке (прежде всего, специализированные самолеты радио- и радиотехнической разведки — РРТР). Основными задачами станции непосредственной РРТР будут своевременное вскрытие изменений радиоэлектронной обстановки и технический анализ сигналов объектов подавления (определение режимов работы, несущей частоты и вида сигнала). Использование подобного сетевого режима функционирования системы радиопомех должно обеспечить исчерпывающую ситуационную осведомленность экипажа в условиях сложной радиоэлектронной обстановки и высокую точность определения местоположения источников радиоэлектронного излучения.

В целом модульность и открытая архитектура конструкции системы NGJ позволит использовать ее не только на самолетах EA-18G и F-35B, но и на различных беспилотных летательных аппаратах (БЛА). Кроме того, предусматривается вариант применения системы NGJ совместно с управляемой ракетой класса «воздух-РЛС» AGM-88E AARGM (Advanced Anti-Radiation Guided Missile), которая, в свою очередь, является усовершенствованной версией противорадиолокационной ракеты AGM-88C HARM. В данном случае задачей системы РЭП будет обеспечение выхода носителя управляемых ракет на рубеж атаки.

Ракета AGM-88E AARGM имеет комбинированную систему наведения, которая включает инерциальное наведение с коррекцией по сигналам космической радионавигационной системы GPS NAVSTAR и активную радиолокационную ГСН, функционирующую в миллиметровом диапазоне длин волн. Активная головка самонаведения использует алгоритмы распознавания и анализа цели, что позволяет противостоять тактике выключения РЛС зенитно-ракетных комплексов или наводиться на неизлучающие цели, такие как машины управления и силовые энергетические установки. Максимальная дальность пуска ракеты составляет около 170 км, масса осколочно-фугасной боевой части — 65 кг.

Таким образом, анализ состояния и перспектив развития специализированной авиации ВВС, ВМС и КМП США, а также программных элементов в области разработки, создания и модернизации средств и комплексов РЭБ воздушного базирования США показал, что основными направлениями развития в данной области являются:

- реализация эшелонированной системы применения авиационных средств РЭБ при помощи как пилотируемых носителей средств РЭБ, действующих в пределах воздушного пространства противника либо за его пределами, так и беспилотных носителей средств РЭБ, действующих в пределах воздушного пространства противника, недоступного для средств РЭБ основного компонента (например, в пределах зон гарантированного поражения), и решающих задачи имитации средств воздушного нападения, исполнительной РТР и РЭП РЭС противника;

- обеспечение функционирования сил и средств РЭБ в едином информационно-коммуникационном пространстве для обеспечения управления и оптимального целераспределения сил и средств по объектам действий в реальном масштабе времени (интеграция БРЭО в ЕИКП);

- обеспечение интеграции различных средств и систем РЭБ в единый комплекс на борту специализированного самолета РиРЭБ, улучшение возможностей обнаружения, идентификации угроз, автоматического определения мер противодействия и избирательного прицельного РЭП отдельных РЭС в условиях их большой насыщенности в зоне боевых действий;

- оптимизация способов РЭП, заключающаяся в разработке новых тактических приемов и алгоритмов применения авиационных систем РЭП, системы РТР, автоматов выброса расходуемых средств РЭБ, автономных маневрирующих ложных целей и буксируемых ложных

целей для повышения эффективности противодействия будущим угрозам в радиодиапазоне электромагнитных волн;

- модернизация и развитие индивидуальных средств РЭБ тактической и военно-транспортной авиации, включая системы предупреждения о радиолокационном облучении, системы предупреждения о ракетном нападении, автоматы отстрела ложных целей, станции активных помех и комплексы оптико-электронного подавления;

- модульное построение систем и средств РЭБ с возможностью частых модернизаций без существенного изменения конструкции, включая разработку и развитие новых систем РЭП модульного типа с открытой архитектурой (обеспечение модульности и открытой архитектуры построения системы в целом);

- обеспечение интеграции средств (станций) РЭП AN/ALQ-249 комплекса РЭБ NGJ нового поколения в бортовой радиоэлектронный комплекс современных самолетов и БЛА;

- оснащение средствами РЭБ тактических и стратегических беспилотных летательных аппаратов (например, в США в качестве воздушных платформ для средств постановки помех рассматриваются стратегический БЛА MQ-1C Gray Eagle и тактический БЛА RQ-7A — ожидается, что на этих БЛА будет размещен воздушный компонент⁵ комплекса радиоэлектронного подавления MFEW (Multi-Function Electronic Warfare) объединенной системы РИРЭБ IEWS (Integrated Electronic Warfare System);

- разработка и создание АФАР нового поколения (изготовление АФАР из высокотехнологичных материалов, снижение ее массогабаритных характеристик; особо важными являются работы, связанные с разработкой таких компонентов АФАР, как антенны, циркуляторы и приемо-передающие модули);

- совершенствование отдельных компонентов системы РЭБ в целях улучшения их тактико-технических характеристик (расширение диапазона рабочих частот, повышение чувствительности и пропускной способности радиоприемных устройств, увеличение энергопотенциала средств постановки радиопомех и т.п.) до значений, обеспечивающих эффективное противодействие современным и перспективным средствам связи и передачи данных, в том числе работающим в режиме программной перестройки рабочей частоты;

- комплексное развитие технологий радиочастотной электронной борьбы, а также технологий РЭБ и РЭП в видимом и ИК-диапазонах;

- существенное увеличение мощности передатчиков помех для эффективного подавления современных РЛС;

- обеспечение исключения подавления собственными помехами различных РЭС самолета, прежде всего бортовой РЛС (обеспечение должной электромагнитной совместимости с БРЭО носителя);

- моделирование сложных помеховых обстановок и имитация воздействия радиоэлектронных атак в условиях, схожих с боевыми (разработка систем имитации условий ведения РЭБ);

⁵ Другим является наземный компонент комплекса РЭП MFEW, в составе которого разрабатываются следующие три вида средств.

1. Средства РЭП оперативного и оперативно-тактического звеньев управления, которые будут обладать высоким энергопотенциалом и использоваться СВ США для ведения РПТР и РЭП радиосвязи противника в ВЧ-диапазоне (предполагается их размещение на базе бронированных грузовых автомобилей).

2. Средства РЭП тактического и оперативно-тактического звеньев управления, в качестве платформы-носителя которых планируется использовать бронеавтомобиль JLTV (Joint Light Tactical Vehicle).

3. Переносные устройства для постановки помех, которые будут использоваться силами специальных операций для радиоподавления РЭС противника, недоступных для других средств РЭП (эти устройства будут иметь массогабаритные характеристики, обеспечивающие их доставку к месту применения одним солдатом).

- повышение степени автоматизации системы управления комплексом РЭБ;
- оценка и парирование угроз от распределенных в пространстве средств РЭБ противника;
- развитие методов обнаружения/предупреждения для защиты ЛА от лазерного излучения различного уровня мощности;
- создание и развитие лазерных средств оптико-электронного подавления;
- развитие технологий приемников предупреждения (оповещения) о ракетных угрозах, процессоров предварительной обработки сигналов для систем электронной борьбы и перспективных алгоритмов сортировки/предварительной обработки сигналов;
- разработка и использование передовых алгоритмов формирования сигналов помех;
- разработка методов противодействия помехам;
- разработка новых и развитие технологий существующих авиационных противорадиолокационных управляемых ракет (совершенствование комбинированных систем их наведения, активных радиолокационных головок самонаведения, алгоритмов распознавания и анализа цели, увеличение максимальной дальности пуска ракет и т.п.);
- анализ уязвимых мест состоящих на вооружении ракетных систем с ОЭ и ИК-наведением;
- разработка, создание и совершенствование комплексов индивидуальной радиоэлектронной защиты вертолетов от поражения ракетами с пассивным ИК-наведением;
- модернизация БРЭО самолетов для увеличения возможностей по обнаружению, определению местоположения и распознаванию РЭС противника для их последующего радиоэлектронного подавления и обеспечения применения современных и перспективных УР класса «воздух-РЛС».

Таким образом, в вооруженных силах США в обозримой перспективе основными комплексами РЭБ воздушного базирования будут специализированные самолеты РЭБ EA-18G Growler ВМС США и самолеты РЭБ EA-37B Compass Call ВВС США. Кроме этого, происходит плановая замена устаревших комплексов РЭБ авиационного базирования на новую авиационную подвесную контейнерную систему радиоэлектронного подавления следующего поколения AN/ALQ-249 NGJ (Next Generation Jammer) для самолетов ВВС, ВМС и КМП США различных модификаций, включая самолет EA-18G Growler. Модульность и открытая архитектура конструкции системы NGJ позволит использовать ее не только на самолетах, но и на различных БЛА стратегической и тактической глубины. Указанный комплекс может быть использован как для защиты боевых групп авиации путем нарушения работы радиолокационных станций противовоздушной обороны, так и для радиоэлектронного подавления систем связи противника. Текущие планы руководства ВМС США предусматривают к 2027–2028 гг. переоснащение всех 153 состоящих на вооружении ВМС США самолетов EA-18G новой системой РЭП AN/ALQ-249 NGJ. Также в ближней перспективе командование КМП США для решения задач РЭБ предусматривает оснащение многоцелевых истребителей F-35B станциями РЭП AN/ALQ-249 NGJ.

Анализ научно-технических проблем разработки и создания специализированных средств и комплексов РЭБ воздушного базирования показал, что в США основными направлениями развития в данной области будут: использование средств радиоэлектронного подавления АФАР нового поколения, модульное построение систем и средств РЭБ с возможностью частых модернизаций без существенного изменения конструкции, совершенствование способов и разработка новых тактических приемов применения специальных самолетов РЭБ, а также интеграция авиационных групповых средств РЭБ в единое информационно-коммуникационное пространство.

Статья подготовлена к изданию при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания на 2025 г. № 075-00682-25-02.

Список литературы (References)

1. DoD Electromagnetic Spectrum Superiority Strategy 2020. URL: https://media.defense.gov/2020/Oct/29/2002525927/-1/-1/0/ELECTROMAGNETIC_SPECTRUM_SUPERIORITY_STRATEGY.PDF (date of access: 28.01.2025).
2. AN/ALQ-249 Next Generation Jammer (NGJ). URL: <https://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/systems/ngj.htm> (date of access: 28.01.2025).
3. EC-37B Compass Call Electronic Warfare Aircraft, US. June 13 2024. URL: <https://www.airforce-technology.com/projects/ec-37b-compass-call/?cf-view> (date of access: 30.01.2025).
4. Tyler Rogoway (2021) This Is What The Navy's New Shipboard Electronic Warfare System Can Actually Do. August 4, 2021. URL: <https://www.twz.com/41829/this-is-what-the-navys-new-shipboard-electronic-warfare-system-can-actually-do> (date of access: 30.01.2025).
5. MFEW Multi-Function Electronic Warfare. URL: <https://breakingdefense.com/tag/mfew-multi-function-electronic-warfare> (date of access: 30.01.2025).
6. EWPMT Electronic Warfare Planning and Management Tool. URL: <https://breakingdefense.com/tag/ewpmt-electronic-warfare-planning-and-management-tool> (date of access: 30.01.2025).
7. Ground Electronic Warfare. Terrestrial Layer System-Echelons Above Brigade (TLS-EAB). Terrestrial Layer System-Brigade Combat Team (TLS-BCT). URL: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/capabilities/electronic-warfare/ground-ew.html> (date of access: 03.02.2025).
8. Journal of Electromagnetic Dominance. EW Highlights from DOD FY24 Budget. URL: <https://www.jedonline.com/2023/04/19/ew-highlights-from-dod-fy24-budget> (date of access: 04.02.2025).
9. Congressional Research Service. U.S. Airborne Electronic Attack Programs: Background and Issues for Congress. May 14, 2019. URL: <https://sgp.fas.org/crs/weapons/R44572.pdf> (date of access: 05.02.2025).
10. PE 0603270F / Electronic Combat Technology. Exhibit R-2, RDT&E Budget Item Justification: PB 2025 Air Force. March 2024 (date of access: 06.02.2025).
11. PE 0207253F / Compass Call. Exhibit R-2, RDT&E Budget Item Justification: PB 2024 Air Force. March 2023 (date of access: 06.02.2025).
12. Department of Defense Fiscal Year (FY) 2023 Budget Estimates. Justification Book Volume 1 of 5. Research, Development, Test and Evaluation, Navy. April 2022 (date of access: 08.02.2025).
13. Department of Defense Fiscal Year (FY) 2024 Budget Estimates. Justification Book Volume 4 of 5. Research, Development, Test & Evaluation, Navy. March 2023 (date of access: 08.02.2025).
14. World Air Forces 2025. URL: <https://www.flightglobal.com/defence/2025-world-air-forces-directory/160846.article> (date of access: 11.02.2025).
15. Stephen Losey (2023) US Air Force receives first new Compass Call electronic warfare plane. September 13, 2023. URL: <https://www.defensenews.com/air/2023/09/12/us-air-force-receives-first-new-compass-call-electronic-warfare-plane> (date of access: 11.02.2025).
16. EC-37B Compass Call Electronic Warfare Aircraft, US. June 13 2024. URL: <https://www.airforce-technology.com/projects/ec-37b-compass-call/?cf-view> (date of access: 13.02.2025).
17. Harrison Kass. EA-18G Growler: The U.S. Navy's Most Important Plane. The National Interest. December 10, 2023. URL: <https://nationalinterest.org/blog/buzz/ea-18g-growler-us-navys-most-important-plane-207835> (date of access: 13.02.2025).
18. EA-18G Growler Electronic Attack Aircraft, US. 12 April 2022. URL: <https://www.naval-technology.com/projects/ea-18g-growler> (date of access: 14.02.2025).
19. AOC ISSUE BRIEF. Next Generation Jammer. URL: https://cdn.ymaws.com/www.crows.org/resource/resmgr/advocacy/newsletters/may_2020_next_gen_jammer_bri.pdf (date of access: 14.02.2025).
20. The USA's NGJ Strike Jammers: Raytheon's Mid-Band Win. Mar 03, 2022. URL: <https://www.defenseindustrydaily.com/we-be-jammin-the-usas-next-generation-strike-jammer-015217> (date of access: 17.02.2025).
21. AN/ALQ-249(V)3. Next Generation Jammer High Band. URL: <https://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/systems/ngj-hb.htm> (date of access: 17.02.2025).
22. Aircraft Carrier Fleet Strength by Country (2025). URL: <https://www.globalfirepower.com/navy-aircraft-carriers.php> (date of access: 17.02.2025).

ЮЖНЫЙ ПОЛЮС И РОССИЯ В ПАРАДИГМЕ НОВОГО МИРОПОРЯДКА

В.И. Карпенко, глав. аналитик ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, karpenkovi@extech.ru

Рецензент: Ю.А. Ясносокирский, Университет «Синергия», канд. юрид. наук, dan63@rambler.ru

В статье рассматриваются роль и место Южного полюса как политико-территориального пространства в процессе формирования нового миропорядка. Авторская концепция единой стратегии по освоению Антарктики и Арктики и роли Северного полюса как «дымовой» завесы Южного выделяет специфику главных угроз интересам РФ в Антарктике, определяющих содержание ее внешнеполитической и региональной политики. При этом подчеркивается неизбежность обострения конкурентной борьбы за Антарктику как ресурсного резерва человечества и одной из основ будущего информационно-цифрового общества.

Ключевые слова: Антарктика, Арктика, Южный полюс, Северный полюс, Договор об Антарктике, Мадридский протокол, Россия, общее наследие человечества, пространство, угрозы, безопасность, ресурсы, война, новый миропорядок, информация.

THE SOUTH POLE AND RUSSIA IN THE PARADIGM OF THE NEW WORLD ORDER

V.I. Karpenko, Chief Analyst, SRI FRCEC, karpenkovi@extech.ru

The article examines the role and place of the South Pole as a political and territorial space in the process of forming a new world order. The author's concept of a unified strategy for the development of Antarctica and the Arctic and the role of the North Pole as the «smoke screen» of the South highlights the specifics of the main threats to the interests of the Russian Federation in Antarctica, determining the content of its foreign policy and regional policy. At the same time, the inevitability of intensifying competition for Antarctica as a resource reserve of humanity and one of the foundations of the future information and digital society is emphasized.

Keywords: Antarctica, Arctica, the South Pole, the North Pole, the Antarctic Treaty, the Madrid Protocol, Russia, common heritage of humankind, space, threats, security, resources, war, new world order, information.

Процесс формирования нового мирового порядка, его основные черты и динамика являются приоритетными предметами современных исследований. Процесс подразумевает, в том числе, политическое, военное, правовое и экономическое обоснование прав на окружающее природное пространство или общее пространство человечества. Последнее наряду с территориальным, водным и воздушным пространствами с четкими осязаемыми физико-географическими характеристиками включает пространства экономическое, культурно-цивилизационное, информационное, кибернетическое, экологическое и т.д., влияющие на характер и направленность мировых процессов, а также на политическую стратегию стран мира. При этом в системе международных отношений общие пространства человечества воспринимаются ведущими государствами мира как ничейные, требующие «хозяина», а противоборство в сфере «общих пространств» свидетельствует о фундаментальном сдвиге в структуре международной безопасности. С появлением информационного и приполярного пространств межгосударственное взаимодействие по освоению и использованию окру-

жающего природного пространства трансформировалось из сотрудничества в соперничество за принципы его раздела. Все это в полной мере относится к общему наследию человечества: океанам, глубоководному дну, Антарктике, космосу, атмосфере, окружающей среде в целом.

Как следствие, в мировой политике сформировалось отдельное направление отношений — по освоению и использованию окружающего природного пространства, особенно его зон, ранее считавшихся периферийными и недостаточно изученными. В нем главное — завоевание выгодных позиций по вопросам владения, пользования и регламентации поведения в окружающем пространстве для достижения гегемонии конкретных стран в новом миропорядке по критериям состояния экономики, финансов, коммуникации, информационно-цифровых систем, научно-технического развития и т.д. Сопутствующими факторами выступают ситуативность наличия государств-партнеров, разного рода союзов и коалиций.

В парадигме нового информационно-цифрового миропорядка таким объектом системы международных отношений является Антарктика — континент, состоящий из материка Антарктиды и примыкающих островов. Его площадь — около 14,4 млн км² (из них 1,6 млн км² составляют шельфовые ледники), или 1/10 площади планеты без государственных и таможенных границ, постоянного населения, промышленности, сельского хозяйства, транспортных коммуникаций, урбанизированных поселений и военных баз находится под международным режимом управления. В Антарктиде насчитывается около 40 аэродромов с ледяной или снежной взлетно-посадочной полосой. Некоторые из них принимают международные рейсы из ЮАР, Чили, Аргентины, Австралии и Новой Зеландии, в том числе аэродромы Амундсен-Скотт, Тениенте Марша, Уилкинс, Пегасовое поле, станции Новолазаревская и др.

Южный полюс — это территория наследия человечества, ресурсный резерв человечества. В его недрах хранятся такие необходимые для жизнедеятельности человека полезные ископаемые, как железная руда, медь, никель, свинец, цинк, молибден, каменный уголь, слюда, графит, горный хрусталь, золото и алмазы. По данным Геологической службы США, на шельфе и в недрах Антарктиды находятся колоссальные запасы нефти в 6,5 млрд т (по другим сведениям, 200 млрд баррелей) и более 100 трлн кубометров природного газа. Только в море Росса, предположительно, находятся крупнейшие залежи нефти, уступающие по объемам лишь Саудовской Аравии. Также в недрах имеется 30 % мировых запасов урана. Прибрежные воды Южного полюса изобилуют промысловыми сортами рыб. И наконец, что важнее всего, в Антарктиде сосредоточено до 90 % мировых запасов пресной воды. В недавнем прошлом рассматривались проекты по транспортировке айсбергов через Индийский океан к аравийским берегам для получения пресной воды, проекты по использованию шельфа Мальвинских/Фолклендских островов для добычи нефти, проекты, регулирующие промысел криля, рыб, и другие проекты.

Антарктика стала местом острейшего противоборства за региональное и мировое лидерство в условиях переживаемого перехода в новый миропорядок и сопряженных с ним угроз безопасности. Угрозы же безопасности начала XXI в. определены международным сообществом как мировые политические и экономические кризисы, угрозы ядерной войны и масштабных технологических катастроф, информационные вбросы в пространство интернет-сетей, гигантские стихийные бедствия, пандемии бактериальных и вирусных заболеваний и глобальные изменения климата.

На Южном полюсе угрозы ядерной войны и масштабные технологические катастрофы сдерживаются Договором об Антарктиде 1959 г., который не является структурой ООН и существует как самостоятельная международная организация. В соответствии с документом континент признается демилитаризованной зоной, свободной от ядерного оружия, запрещающей заход боевых кораблей и вооруженных судов и захоронение радиоактивных мате-

риалов. Военнослужащим разрешено проводить научные исследования, но они не могут создавать базы, испытывать вооружение и проводить маневры. Существующие на его территории базы различных государств обладают лишь научно-исследовательскими полномочиями, не являясь территориями этих стран.

Экономическая деятельность в регионе сводится к туризму и промыслу морских биологических ресурсов, имеющему к тому же экспериментальный научный, не промышленный характер. Соответственно, говорить о каком-либо значимом влиянии мировых экономических кризисов на Антарктический регион не представляется возможным.

Разного рода пандемии имеют преимущественно местное значение, равно как и информационное противоборство. При этом в переходный период к новому миропорядку антарктическое информационное и цифровое пространство стало актуальным в системе международных отношений.

В приведенном перечне современных угроз международной безопасности, связанных с Южным полюсом, по-прежнему в приоритете глобальные изменения климата. Антарктика, как свидетельствуют наблюдения за климатическими и метеорологическими процессами, является климатообразующим фактором для всей планеты. Кроме того, антарктические базы, особенно российские, расположенные по всему периметру континента, дают идеальные возможности для отслеживания сейсмологической активности на всей планете.

На антарктических базах проходят тестирование технологии, которые в будущем планируется использовать для исследования, освоения и колонизации Луны и Марса. Вместе с тем реалии нового миропорядка переводят вопросы международной стабильности в информационное пространство, дополняя перечень международных угроз рабочим документом (РД-57) «Договор об Антарктике в меняющемся мире». Он был обнародован делегацией России в ходе состоявшегося 1–11 июля 2019 г. в Праге (Чехия) 42-м Консультативного совещания Договора об Антарктике (КСДА) и содержит такие значимые «антарктические» угрозы, как:

- рост числа консультативных сторон и, как следствие, усложнение схемы принятия решений в рамках СДА (Система Договора об Антарктике (СДА) – Договор об Антарктике 1959 г. и связанные с ним соглашения, принятые в целях регулирования отношений в регионе);
- внешнее давление на сложившийся режим управления Антарктикой;
- прогрессирующая политизация научно-технических и природоохранных проблем деятельности в Антарктике;
- растущий интерес к проблематике более интенсивного использования ресурсов Антарктики, включая вопрос об «отложенном» использовании минеральных ресурсов региона;
- проблемы с поступательностью и эффективностью процесса одобрения мер КСДА.

В итоге с учетом российского документа проблематика освоения Южного полюса и связанных с ним угроз безопасности сводится к темам ресурсов и исследованию новейших технологий по их добыче, изменению регионального климата и нормативно-правовым вопросам.

Развитие ресурсно-технологической темы в Антарктиде сдерживается Мадридским протоколом от 1991 г., запрещающим до 2048 г. добычу любых ископаемых на континенте на промышленном уровне. При этом степень развития современных технологий по добыче ископаемых уже сейчас позволяет реализовать подобные проекты и диктует необходимость их применения.

Технологии становятся аргументом территориальных претензий. Так, Япония обосновывает свои права на Антарктиду эксклюзивностью собственных технологий по разработке континентальных газовых месторождений. В Стране восходящего солнца это считают достаточным основанием, чтобы претендовать на обязательную долю газовых запасов Южного полюса. В итоге мы наблюдаем своеобразное «окно Овертона», где посредством

технологических прерогатив виртуальное право трансформируется в легитимные территориальные притязания. То есть возникает потребность в ревизии Мадридского протокола, а затем, если такое произойдет, то и Договора об Антарктике от 1959 г. как гаранта региональной и международной стабильности и безопасности, а также Конвенции ООН по морскому праву от 1982 г., обеспечивающей режим правового регулирования на просторах Мирового океана и морей.

Напомним, что еще в 50-х гг. прошлого столетия ученые увидели потенциал использования океанического урана для получения ядерной энергии, и в 1980-х японские исследователи разработали способ его извлечения, создав химическое соединение под названием «амидоксим», которое связывается плавающими частицами урана. В настоящее время Китай настолько преуспел в урановой тематике, что стал ее абсолютным лидером. Не лишне напомнить, что *КНР является второй страной после США по числу ученых, изучающих Антарктиду*. Научные разработки Пекина позволяют извлекать уран из морской воды, правда, его концентрация очень низка – примерно 3,3 микрограмма на литр. Поэтому добывать уран из океана гораздо сложнее и дороже, чем из недр Земли. По значимости указанная технология – это революция в энергетике, так как, по оценкам китайских ученых, запасов урана на суше при существующем спросе хватит в лучшем случае на столетие. А океанские «залежи» могут обеспечивать энергией весь мир более тысячи лет (считается, что запасов урана в Мировом океане в 1000 раз больше, чем на суше: более 4,5 млрд т). В связи с этим с большой долей вероятности можно предположить последующую трансформацию урановой технологии в претензии Пекина на часть антарктической территории по японскому сценарию. Также КНР проводит в Антарктике некие специализированные научные исследования в передовых областях биологии и, на что важно обратить внимание, увеличивает число проектов с разработкой и использованием новых композитных материалов повышенной прочности, гибкости и веса. А это – свидетельство о намерении надолго закрепиться на Южном полюсе.

Таким образом, вопросы ресурсов и их освоения формируют содержание внешней политики и национальной безопасности любого государства, включая наиболее активные страны в регионе, такие как Австралия, Аргентина, Бразилия, Великобритания, Индия, Китай, Малайзия, Новая Зеландия, Норвегия, Россия, США, Чили и ЮАР, и подразумевают в итоге легитимацию своих территориальных претензий.

В данном контексте важна позиция России, заявившей, как и США, что в принципе может выдвинуть свои территориальные претензии в Антарктике. Начиная с 1819 г., момента открытия шестого континента Ф. Беллинсгаузеном и М. Лазаревым, Россия с переменным успехом отвергала претензии других стран на открытую ею землю. Однако, окончательно утвердиться на континенте не удалось, и в 1959 г. СССР наряду с 11 другими странами подписал Договор об Антарктике. С тех пор Южный полюс стал официально ничьим.

В реальности спор о национальной юрисдикции над Антарктикой отложен на неопределенное время. Страны-претенденты не отказались от своих претензий на новые земли. Антарктиду разбили условными границами на национальные секторы, которые впоследствии стали восприниматься как настоящие границы и переросли в статус территориальных споров. Последние год от года становятся все насущнее и априори способны инициировать международные конфликты, в острой фазе переходящие в военное противостояние. Вышесказанное указывает на главную угрозу существующему миропорядку и национальным интересам России, связанную с Южным полюсом, – возможность ревизии Договора об Антарктиде. Он коренным образом отличается от многих других региональных актов международного права двумя основными критериями: статусом консультативной стороны и правилом консенсуса в принятии решений любых органов СДА.

Первый из них означает возможность обсуждения вопросов повестки дня КСДА и принятие решений или наложение вето на них только теми сторонами Договора, которые обладают активно действующей национальной антарктической научной программой или антарктической станцией. Второй означает возможность принятия решения в органах управления Системой Договора об Антарктике на основе единого мнения сторон при отсутствии аргументированных возражений, без проведения процедуры голосования.

На сегодняшний день принятие решения на очередных КСДА возможно только при отсутствии возражений хотя бы одной из 29 консультативных сторон Договора. Внесение любых изменений в правила процедуры КСДА также возможно только при наличии консенсуса. Для России это означает, что исключить ее мнение и применить в отношении нее любые дискриминационные решения в настоящее время *невозможно*.

Другой угрозой безопасности всему антарктическому сообществу и РФ, непосредственно связанной с действием Договора, являются вооруженные конфликты, в том числе происходящие за пределами действия документа. Причем такая конфликтность обретает новый формат, соответствующий реалиям информационного цифрового общества переходного периода к новому миропорядку. Так, 24 февраля 2022 г. в связи с началом российской специальной военной операции на Украине по интернет-каналам было распространено обращение начальника украинской антарктической станции «Академик Вернадский» к сотрудникам всех антарктических станций, включая станции Российской антарктической экспедиции (РАЭ), о необходимости официального осуждения российской агрессии на Украине и поддержке его страны в борьбе за свой государственный суверенитет. Напомним, что украинскую станцию «Академик Вернадский» (бывшая британская «Фарадей») Лондон продал Киеву за символическую плату в один фунт стерлингов за обязательство предоставлять продавцу всю научную информацию. Символично, что в свое время академик, лауреат Сталинской премии 1-й степени В.И. Вернадский наотрез отказался принимать украинское гражданство, заявив, что он «исключительно русский человек единой России» и «категорически против украинской независимости».

Уникальная значимость данного события как формы информационного противоборства — во-первых, в поддержке требования о прекращении рабочих контактов с Россией по изучению Антарктиды не только европейских консультативных сторон Договора (Бельгия, Болгария, Германия, Испания, Италия, Нидерланды, Норвегия, Польша, Соединенное Королевство, Украина, Финляндия, Франция, Чехия, Швеция), членов Британского содружества (Австралия и Новая Зеландия), США, а также их давнего союзника в Азии (Япония), но и латиноамериканских государств (Аргентина, Бразилия, Уругвай, Чили, Эквадор). Во-вторых, украинское обращение стало первым и пока единственным из прецедентов в Системе Договора об Антарктике, направленных на разрастание конфликта за пределы Договора и его последующую ревизию.

Известно, что за все время действия Договора консультативные стороны участвовали в многочисленных военно-политических конфликтах в других регионах планеты, неоднократно приводя мировое сообщество к угрозе мировой ядерной войны. Это аргентино-чилийское противостояние в 1978 г. в районе пролива Бигль на Огненной Земле; британо-аргентинский конфликт на Фолклендских (Мальвинских) островах и о. Южная Георгия в 1982 г.; между Китаем и Индией в 2017 г. в горах Тибета. Аналогичные примеры можно привести в отношении участия большинства консультативных сторон в вооруженных конфликтах на территориях стран, не участвующих в Договоре, расположенных в Азии, Африке, Латинской Америке и на Балканском полуострове Европы. Однако, никогда эти конфликты и острейшие политические разногласия между консультативными сторонами не становились объектом обсуждений на площадках очередных КСДА, а их участники никогда не обращались к сообществу насчет политической поддержки своих правительств и к экспедиционному составу иностранных антарктических станций.

В сложившейся ситуации возможен раскол между сторонами Договора, чего неофициально добивались некоторые его учредители, которые не оставили своих интересов в осуществлении собственного национального суверенитета в Антарктике. В итоге возможно возникновение нескольких международных договоров об Антарктике, стороны которых будут объединены не как единомышленники, а как союзники по политическим альянсам.

Все вышесказанное дает основание говорить о наличии двух форм борьбы за часть «ничейной» антарктической территории и ресурсов на будущее: юридической/фактической и технологической. А учитывая современные реалии, можно констатировать зарождение третьей формы противостояния на Южном полюсе — вооруженной. Начало ей было положено 2 апреля — 14 июня 1982 г. войной между Аргентиной и Великобританией за две британские заморские территории в Южной Атлантике: Фолклендские (британское название) или Мальвинские (аргентинское название) острова, а также Южную Георгию и Южные Сандвичевы острова. Формально это была война за острова, но одной из стратегических целей Лондона было укрепление своих позиций в борьбе за шестой континент.

Дальше — больше. Растут оборонные бюджеты «антарктических» стран, поставки новых видов вооружений и военной техники, создаются подконтрольные военно-политические блоковые структуры — все это нацелено на окутывание Антарктиды сетью ударных позиций, главным образом подконтрольных США и нацеленных на силовое обеспечение последующего захвата ресурсной базы шестого континента. Подчеркнем, что в США вся антарктическая деятельность курируется силами ВМФ и ВВС страны, а в ведущих «антарктических» латиноамериканских странах — военно-морскими силами и министерствами обороны. В отношении последних доказательством является посещение 3 января 2025 г. президентом Чили Г. Боричем Южного полюса в целях подтверждения «антарктического призвания Чили». Его сопровождающими были министры национальной обороны М. Фернандес и окружающей среды М. Рохас, командующие военно-воздушными, военно-морскими и сухопутными силами Чили и двое чилийских ученых. Знаменательно, что Г. Борич стал первым латиноамериканским лидером, посетившим шестой континент [1].

Для создания антарктического позиционного кольца Вашингтон наращивает ударный потенциал своих региональных сателлитов, используя их как прокси и активно насыщая самыми современными системами вооружений. При этом акцент делается на боевых системах с потенциалом применения ядерного оружия.

Опору в антарктическом регионе США видят в Новой Зеландии и Австралии, выступающей в настоящее время в качестве ударного флагмана АУКУС (AUKUS), в котором функция администрирования во многом делегирована Великобритании.

В качестве прикрытия и оправдания своей сетевой военно-политической деятельности Вашингтон через аффилированные региональные СМИ (прежде всего австралийские) активно использует тему активного наращивания российского и китайского присутствия на Южном полюсе и реализует ее посредством повышения частоты размещения в Сети материалов об использовании Россией и Китаем Антарктики в военных целях и нанесении ущерба Мировому океану.

В частности, выражается обеспокоенность по поводу разработок Москвой и Пекином собственных спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и «БэйДоу» и создания дополнительных спутниковых и приемных станций в Антарктике для расширения собственных оборонительных и наступательных военных операций по всему миру. Высказываются предположения, что Китай разместил в регионе морские акустические системы, способные контролировать стратегическую океанскую магистраль от мыса Горн до Антарктического полуострова.

В обороте активно используется тезис о проводимом на австралийской территории к северо-востоку от Мак-Мердо силами ВМФ Китая эксперименте с импровизированными сетями связи. При этом указывается, что 1 ноября 2023 г. Китай отправил два своих ледокола

в Антарктиду для строительства новой исследовательской станции на скалистом острове Невыразимый недалеко от моря Росса. По сообщениям СМИ со ссылкой на отчет Центра стратегических и международных исследований (CSIS), объект имеет хорошее расположение для сбора данных радиоразведки таких стран, как Австралия и Новая Зеландия, двух членов союзного альянса по обмену разведанными «Пять глаз» с США, Великобританией и Канадой. Также на объекте возможно разместить оборудование для слежения за телеметрическими данными о ракетах, запущенных из австралийского космического центра Арнхем [2].

В дополнение ссылаются на отчет Министерства обороны КНР за 2022 г., в котором говорится, что «стратегия страны в Антарктиде включает использование технологий, объектов и научных исследований двойного назначения, которые, вероятно, предназначены, по крайней мере частично, для улучшения Народно-освободительной армии Китая» [2].

Сами же США возложили на Третий флот ВМС США новые функции и задачи в зоне его ответственности: нарастить активность и быть готовым работать в качестве центра военно-морских операций в Индийско-Тихоокеанском регионе.

Все это свидетельствует о подготовке США и их союзников к военным действиям по переделу Антарктиды. И этот передел, как представляется, — вопрос ближайшего будущего.

На этом фоне руководители «традиционных» антарктических государств-участников Договора об Антарктике от 1 декабря 1959 г. регулярно подчеркивают растущее значение континента для своей внешней политики при необходимости сохранения баланса интересов.

В частности, Президент РФ В. Путин считает, что Антарктида — стратегически важный регион для внешней политики Москвы, стремящейся наращивать свое присутствие на континенте¹.

В отношении международного сотрудничества в Антарктике министр иностранных дел РФ С.В. Лавров, говоря об объединяющей геополитических соперников роли региона, заметил: «...именно по вопросу об Антарктиде царит полное единодушие между Москвой и Вашингтоном»², что не оспаривается европейскими и американскими экспертами [3].

Позиции ведущих держав мира в отношении Южного полюса во многом схожи: сохранение континента в качестве территории совместных научных исследований, недопущение установления государственного суверенитета на какие-либо районы антарктической территории, сохранение системы Договора об Антарктике. Однако, сложившаяся ситуация не устраивает новых претендентов на долю антарктических богатств. В их числе особенно выделяются страны Латинской Америки, которые в последние годы не только сформировали собственные национальные программы присутствия на материке, но и выработали стратегию взаимодействия с внерегиональными партнерами по освоению материка.

Так, вслед за подписанием в Вашингтоне Договора об Антарктике была сформулирована концепция Антарктиды как «ворот в Латинскую Америку», рассматривающая Южный полюс как потенциал возможности для научного и военного сотрудничества латиноамериканских государств с иными антарктическими государствами. В настоящее время латиноамериканская политика в Антарктиде дополнена военным аспектом в контексте проблемы ядерного разоружения [4], национальными программами освоения региона [5], международно-правовыми вопросами [6], а также оценками места и роли Латинской Америки в формирующемся мировом порядке [7] и новых формах регионального сотрудничества [8].

Ведущими латиноамериканскими игроками на Южном полюсе являются страны Южного конуса — Аргентина, Уругвай и Чили, действующие участники Договора об Антарктике с правом совещательного голоса и имеющие программы антарктических исследований.

¹ URL: <http://en.krem-lin.ru/events/president/news/62690> (дата обращения: 17.04.2025).

² URL: https://www.mid.ru/foreign_policy/news/-/asset_publisher/cKNonkJE02Bw/content/id/3925748 (дата обращения: 17.04.2025).

Цели и задачи антарктической политики стран Южного конуса разнятся, пересекаясь лишь в общих подходах и принципах, например о сохранении Антарктиды в качестве демилитаризованной территории. При этом во всех странах Южного конуса национальные институты исследований Антарктики находятся либо в прямом подчинении, либо в орбите влияния министерств обороны.

Так, Аргентина постоянно и непрерывно присутствует в Антарктиде и совместно с Чили выдвигает предложение о создании охраняемого морского района в западной зоне Антарктического полуострова и в северной части дуги Скотия для лучшего исследования и защиты ресурсов региона. Действия Буэнос-Айреса направлены на решение стратегической задачи — закрепления суверенитета над Антарктикой и усиления ее влияния на процесс принятия решений на международных форумах, посвященных вопросам освоения Антарктиды. Для информации: с сентября 2004 г. именно Буэнос-Айрес является резиденцией Секретариата Договора об Антарктике, что позволяет стране укрепиться в качестве одного из региональных лидеров в области антарктической науки и поставщика логистических услуг, связанных с развертыванием в Антарктике научных баз иных стран и антарктическим туризмом.

Также Аргентина претендует на суверенитет не только над континентальной территорией, но и над ее островами и территориальным морем. Буэнос-Айрес стремится получить суверенные права на разведку, эксплуатацию и сохранение природных ресурсов и управление ими в своей исключительной экономической зоне, которая простирается на расстояние до 200 морских миль.

Суть антарктической дипломатии Чили — укрепление собственного потенциала как «страны-моста» в Антарктиду для третьих государств, повышение эффективности международного сотрудничества в деле освоения Антарктики на глобальном, региональном и субрегиональном уровнях для достижения целей страны в экономической сфере и в области развития человеческого потенциала.

Аргентину и Чили объединяет стремление установить суверенитет над своими зонами в Антарктиде как «территории будущего». При этом двусторонние договоры о сотрудничестве в Антарктиде, заключенные Аргентиной и Чили с третьими странами, посвящены прежде всего взаимодействию по линии министерств обороны.

Отличную от аргентинской и чилийской позицию занимает Уругвай. В принятой уругвайским правительством в 2019 г. Национальной антарктической программе прямо говорится, что Антарктида в первую очередь должна стать точкой соприкосновения внешнеполитических интересов всех латиноамериканских стран и площадкой для многостороннего международного сотрудничества, как в научной сфере, так и в сфере безопасности.

Сантьяго и Буэнос-Айрес стараются заручиться поддержкой новых игроков в регионе, в том числе других стран Латинской Америки, которые также ищут свое место в Антарктиде: Бразилии, Колумбии, Перу, Эквадора, Гватемалы, Венесуэлы, Кубы. В этом списке особый интерес представляет Бразилия с ее возрастающим ростом влияния в Антарктиде. Проводимая ею на Южном полюсе политика подчинена интересам национальной обороны и морской политики и направлена на превращение страны в ведущий научный центр и лидера региона. В связи с этим одним из направлений реализации своих устремлений Бразилия видит в сотрудничестве в рамках объединения БРИКС, позволяющем де-факто быть выразителем интересов всего латиноамериканского региона в Антарктиде и оператором и медиатором сотрудничества в Антарктиде по линии Юг — Юг между странами Южной Америки и Азии. Немаловажно, что под эгидой БРИКС реализуются антарктические инициативы Индии и Китая.

Следует подчеркнуть, что последовательное отстаивание Россией неизменности сути Договора об Антарктике, особенно в части сохранения статуса-кво в вопросе территориальных претензий на континенте [9], находит поддержку стран Латинской Америки, за исключением Чили и Аргентины, выступающих за коррекцию Договора. В случае реализации

последнего значительное преимущество будет предоставлено странам Южного конуса, что противоречит позиции Бразилии, совпадающей с позицией России, Китая и США. Вдобавок в случае возможного ухода из Антарктиды латиноамериканских стран, например Перу, укрепится влияние на континенте ведущих мировых держав — России, Китая и США, что также отразится на общих интересах государств Латинской Америки, включая Бразилию.

Поэтому Москве целесообразно всячески поддерживать Бразилию в качестве регионального гаранта сохранения Договора об Антарктике и политического партнера собственных антарктических проектов и интересов. Последнее сформулировано в утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 30.10.2010 № 1926-р «Стратегии развития деятельности Российской Федерации в Антарктике на период до 2020 года и на более отдаленную перспективу»³.

Инструментом реализации стратегии является госпрограмма по обеспечению государственных интересов РФ в Антарктике, разработка которой возложена на Федеральную службу РФ по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) при участии МИД, Минобрнауки, Минприроды, Минздравсоцразвития, Минфина России, Роснедра, Росрыболовства, Роскосмоса и РАН.

Согласно документу основными задачами России на материке являются содействие развитию и укреплению международной системы Договора об Антарктике, изучение влияния Антарктиды на климат, а также наземное обеспечение космической деятельности РФ в регионе. О значимости последнего свидетельствует, в частности, высказывание основателя космической геополитики Э. Долмана в отношении «ближнего космоса» для решения современными державами военно-политических задач, обеспечения бесперебойной связи и управления: «Кто контролирует низкие орбиты — тот контролирует околоземное пространство, кто контролирует околоземное пространство — доминирует на земле, кто доминирует на земле — определяет судьбу человечества» [10].

Изложенная оценка общего пространства Южного полюса в парадигме нового миропорядка неотъемлема без решения главного вопроса — о гегемонии. Его решение, по мнению авторов и с учетом интересов России, представляется недостижимым без концептуального понимания *единства* стратегии по освоению Антарктики и Арктики и роли Северного полюса как «дымовой завесы» Южного. Последнее подразумевает симбиоз первого посыла и специфики Антарктики как территориально-политического и информационного пространств. Термин «информационное» предполагает исторические, научные знания и конспирологические версии по исследованию шестого континента и выступает главным указующим признаком «завесы» в парадигме информационно-цифрового общества.

Для Москвы Антарктида выступает залогом решения ее проблем в Арктике, ведь оба полюса объединены общностью проблем приполярного пространства и соуправления. Так, необходимо учитывать, что в международно-правовых документах отсутствует четкое определение термина «приполярное пространство» по разного рода причинам, таким как рост экологизации полярной проблематики, вопросы добычи полезных ископаемых в приполярных областях и т. д. Но главная причина — это противоречия положений Конвенции ООН по морскому праву от 1982 г. попыткам создания особых режимов для приполярных пространств.

В Конвенции интерес представляют положение о распространении государственного суверенитета на архипелажные воды, а также особый правовой статус прилегающих и особой экономической зон и континентального шельфа. Кроме того, продолжаются дискуссии о правовом статусе такого отдельного морского пространства, как окраинное море, например, море Беллинсгаузена у побережья Антарктиды, — прилегающие к матерiku водные пространства слабо отделены от океана полуостровами и островами, что позволяет сопредельным государствам объявлять подобные пространства своими территориальными водами.

³ URL: <http://government.rudocs/all/74566/> (дата обращения: 17.04.2025).

А при возможности раздела окраинных морей между несколькими странами это станет дополнительным аргументом в пользу пересмотра Конвенции ООН по морскому праву.

В целом борьба за передел приполярных пространств осуществляется для Арктики под прикрытием проектов пересмотра системы «секторального деления» и распространения на Северный Ледовитый океан норм международного морского права; для Антарктики — под прикрытием дискуссий о границе Южного океана, статуса «приантарктических территорий» и примыкающих к ним шельфовых пространств.

Следует подчеркнуть, что возможность ревизии Конвенции ООН по морскому праву вкупе с Договором об Антарктике и Мадридским протоколом, помимо обострения противостояния сторон на Южном полюсе, будет способствовать пересмотру системы соуправления — системы, в которой все государства имеют одинаковые права на освоение континента и несут одинаковую ответственность за его судьбу.

Не вдаваясь в подробности соуправления на обоих полюсах, укажем, что России было бы выгодно сохранение существующих международно-правовых режимов управления Арктикой и Антарктикой. Однако, это маловероятно. Более реалистичен сценарий жесткой конкурентной борьбы за передел территорий обоих полюсов, включая военное столкновение. И в этой борьбе России придется иметь дело с США, стремящимися к гегемонии в новом миропорядке, и в условиях статус-кво с одновременным укреплением позиций России в Антарктике США, лишаящихся возможностей:

- обвинять Москву в непоследовательности в арктическом и антарктическом вопросах, касающихся раздела всех приполярных пространств по секторальному принципу;

- апеллировать к «антарктическому прецеденту» в вопросе интернационализации Северного Ледовитого океана. Москве не придется доказывать разницу между Северным Ледовитым и Южным океанами.

Кроме того, России будет легче отстаивать свои эксклюзивные права на Северный морской путь и внутренние арктические моря, а также получить большее число союзников в арктическом вопросе, прежде всего из числа потенциальных своих союзников в БРИКС в Латинской Америке.

Рассмотрение тезиса «дымовой завесы» в контексте темы статьи представляется необходимым и достаточным ограничить несколькими примерами.

Первое — это опыт нацистской Германии в освоении шестого континента. Так, 11 июня 1945 г. в Берлине сотрудники советской контрразведки СМЕРШ обнаружили секретные документы, среди которых были морские карты, лоции и схемы маршрутов. Итогом их изучения, включая походы советских субмарин к берегам Южного полюса, стал доклад руководству страны одного из руководителей органов госбезопасности В.Н. Меркулова, в котором сообщалось, что «...немцы осуществляли погружение на подводных лодках в непосредственной близости от берегов Антарктиды в районе Земли Королевы Мод... после оказывались внутри... Земли». Это впоследствии было доказано выдающимся русским ученым И.Е. Кольцовым (Иван Евсеевич Кольцов, 1926–2012, — ученый, конструктор, в прошлом сотрудник секретного бюро по биолокации при Совете Министров СССР, участник поисковых экспедиций, действительный член Географического общества РАН, автор работ по древнейшей истории). Он утверждал о наличии пограничной цивилизации, чьи подводные базы располагаются в глубоководных шхерах и в подбрюшьях континентов, в частности в Охотском и Беринговом морях, и «техника шлюзования известна космонавтам, морякам...» [11].

Кажущаяся на первый взгляд несерьезной информация о пограничной цивилизации более чем серьезно воспринимается в США. Например, Пентагон поставил перед Управлением перспективных исследовательских программ (DARPA) задачу создания на базе программы DARPA Sferics-Based Underground Geolocation (S-BUG) военной системы подземной навигации, способной вызывать искусственно и естественно разряды молний о поверхность Земли. Работа системы заключается в доставке низкочастотного радиосигнала сквозь зем-

ную толщу под воздействием ударов молний. Вопрос: с кем и где возможно силовое столкновение, если не знать о предполагаемом существовании под землей пограничной цивилизации? Или знать о возможностях этих цивилизаций и поставить их себе на службу?

Другой пример — остров Ротшильда (ранее назывался Шарко), покрытый большей частью льдом, длиной 39 км, с пиками гор Деско и Энигма. Он не имеет юрисдикции, числится необитаемым и оборудован взлетно-посадочной полосой с подогревом для тяжелой транспортной авиации, ангарами для техники, административным зданием, казармой для охраны, хранилищем ГСМ, площадкой для погрузочных работ. Предположительно, в чреве горы Деско размещены майнинговая ферма биткоинов и ядерная энергоустановка, питающая всю ИТ-систему на острове.

Остров почти все время затянут туманом, в том числе искусственным, что сводит на нет возможности воздушной и спутниковой разведки. Эта особенность вкупе с названием острова и его инфраструктурой дает основания для разного рода конспирологических версий. Например, в отношении состоявшейся в июле 2021 г. секретной встречи главы ВЭФ К. Шваба, председателя Европейского центрального банка К. Лагард, президента и главного технического директора компьютерной компании Ripple Labs, специализирующейся на производстве программного обеспечения систем онлайн-платежей, Б. Гарлингхауса и Д. Шварца соответственно, а также, вероятно, И. Маска. Естественно предположить, что круг обсуждаемых вопросов соответствовал статусу присутствующих на встрече и, с большой долей вероятности, включал тему искусственного интеллекта (ИИ).

Известно, что нейронные сети, системы ИИ формируют, по определению П.А. Флоренского, так называемое мнимое пространство, — это та объективная информация, которая формируется и сохраняется интеллектом человека как субъективная информация, это информация об объекте, полученная научным, творческим и философским путем.

Специалистов тревожит именно то, что ИИ формирует внутри себя свое собственное мнимое пространство, которое не контролируется человеком и на основе которого ИИ выносит свои, порой ошибочные, решения и суждения. Это создает качественно новую угрозу цивилизационному порядку. Учитывая, что все развитые страны создают у себя ИИ, у каждой из них формируется от разных источников свое собственное мнимое пространство и, соответственно, будут по-разному решаться одни и те же задачи. В этом случае возникает возможность негативных последствий — от принятых решений вплоть до уничтожения человечества.

Выход из сложившейся ситуации, по мнению специалистов, видится в создании независимого от политических, религиозных и экономических пристрастий экстерриториального интернационального центра ИИ, некоего искусственного интеллекта, «мозга планеты Земля». Наилучшим образом указанным критериям соответствует Антарктида. Кстати, о наличии и возможностях спрятанных в Антарктиде серверов свидетельствуют строки из официального заявления сторон-участников договора АУКУС — сотрудничество в области «кибервозможностей, искусственного интеллекта, квантовых технологий и дополнительных подводных возможностей» [12].

Как Южный полюс Земли, так и Северный имеют важное стратегическое значение из-за расположенных на них магнитных полюсов и связанных с ними возможностей управления различными геофизическими процессами. Исследования магнитного поля Земли и электромагнитных излучений позволяют осуществлять зондирование удаленных пространств в космосе и глубоко под землей, контролировать связь, любую электронику и спутники.

Южный магнитный полюс расположен близ российской станции «Восток» и ею контролируется, а северный расположен в Гренландии, подконтролен военной-морской базе США, и не случайно одно из первых заявлений нынешнего хозяина Белого дома Д. Трампа касалось возможности покупки Гренландии. Кстати, на острове, по данным The Economist, обнаружены залежи 43 из 50 минералов, которые американское правительство классифицирует как критически важные, а по заверению директора и основателя группы арктических

исследований Военно-морского колледжа США У. Бербрика: «Тот, кто завладеет Гренландией, завладеет и Арктикой. Это самое важное стратегическое место в Арктике и, возможно, во всем мире» [13].



Рис. 1. Условию экстерриториальности интернационального искусственного интеллекта хорошо удовлетворяет только Антарктида. Изображение сгенерировано нейросетью Kandinskiy 2.1

Наконец, говоря о шестом континенте, нельзя не сказать о вулканах, непосредственно связанных с ранее упомянутыми темами. Несмотря на то что территория Антарктиды в целом является довольно тектонически спокойной и почти асейсмичной, на ней располагается самая большая ледниково-вулканическая провинция в мире. Вулканический пояс Антарктики из 138 вулканов — потухших, спящих и активных, небольших и гигантских, выступающих над ледниковым покровом и полностью скрытых под ним, базальтовых щитовидных и конусовидных стратовулканов, материковых, островных и подводных — прослеживается от субантарктических Южных Сандвичевых островов через Антарктический полуостров и землю Мэри Бэрд до Восточной Антарктиды на расстоянии около 5 тыс. км (рис. 2).

Наиболее известен самый активный вулкан Антарктиды и самый южный действующий вулкан на Земле — Эребус. Он находится на острове Росса в одноименном море недалеко от материкового побережья. Внутри ледников Эребуса и других вулканов или вблизи них были обнаружены пещеры, протаявшие от выделяющихся горячих газов или термальных вод. Температура в них может достигать 25 °С, а дно может быть свободным от льда (рис. 3), так что там вполне может встречаться жизнь в виде микроорганизмов.

Не меньший интерес представляет открытый в 1820 г. вулканический остров Десепшен (Десепсьон) в составе Южных Шетландских островов (рис. 4).

При извержении 1967 г. в северной части кальдеры возникла трещина длиной 5 км, и вблизи берега образовался небольшой остров. Специалисты отмечают, что дно гавани Порт-Фостер поднимается примерно на 30 см/год на фоне тенденции к увеличению сейсмичности острова.

В заливе Уэйлерс в пределах гавани постоянно выходят геотермальные воды (рис. 5).

Горячие источники хорошо известны также на антарктических островах Херд, Кергелен, Росса и др. Таким образом, мнение, что Антарктида полностью покрыта льдом, ошибочно. Ее недра подогреваются от двух источников — вулканов Эребус и Десепшен.

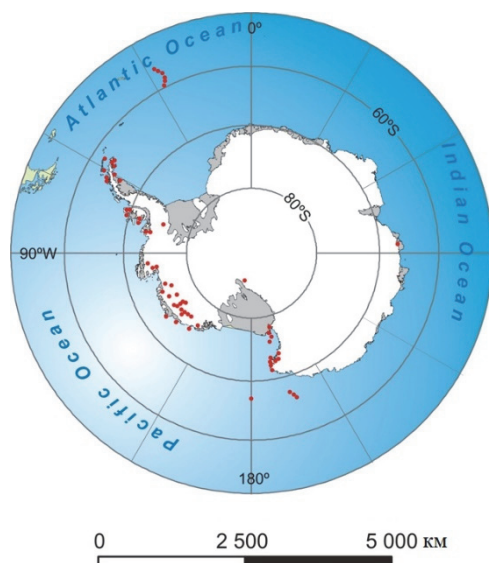


Рис. 2. Распределение вулканов возрастом от 11 млн лет на карте Антарктиды. Места расположения вулканов показаны красными точками

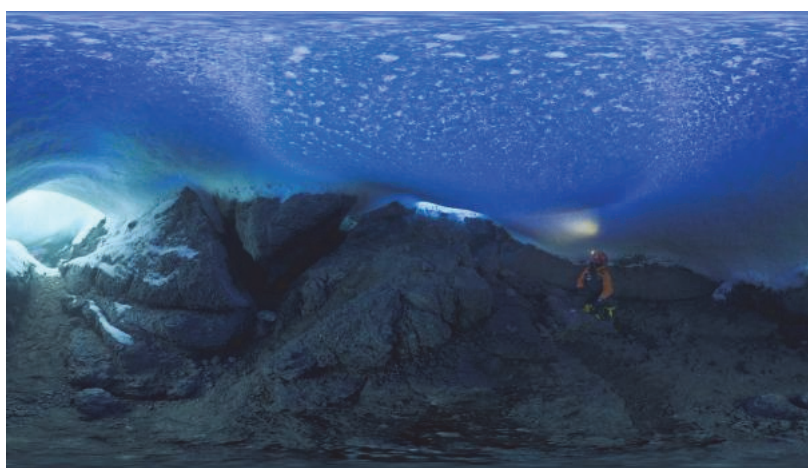


Рис. 3. Теплые пещеры под толщей льда в вулканических областях Антарктиды

В будущем из-за глобального потепления ледяной панцирь Антарктиды может начать истончаться. Тогда давление льда на скрытые под ним вулканы уменьшится, и обстановка может сильно дестабилизироваться: спящие и, казалось бы, потухшие вулканы снова могут стать действующими. И если активизируется целая вулканическая провинция, то массовые извержения будут способствовать увеличению скорости таяния льдов Антарктиды не только непосредственно над вулканами, но и путем ускорения сползания ледников в океан по «смазке» из увеличившегося количества талой воды подо льдом. И все это будет способствовать дальнейшему повышению уровня Мирового океана, затоплению значительных участков суши на других материках, росту количества и силы ураганов, штормов и осадков на Земле. А увеличенные в размере айсберги, отколовшиеся от Антарктиды, будут чаще доплы-

вать до маршрутов движения международных судов и угрожать их безопасности. В связи с этим, как пример, естественно стремление Южной Кореи построить к 2023 г. на Южном полюсе очередную научно-исследовательскую станцию не на побережье Антарктиды, а в глубине материка. Принципиально понимание корейскими учеными того, что быстрое таяние ледников и наличие вулканов могут сместить все находящиеся на кромке Антарктиды международные станции в океан. Не этим ли руководствуются и в Пекине, создавая основную базу для контроля всего Южного полюса на поднимающемся из воды острове Кергелен?



Рис. 4. Остров Десепшен и гавань Порт-Фостер — затопленная кальдера вулкана



Рис. 5. Туристы сидят в подогреваемом геотермальными водами заливе Уэйлерс в пределах гавани Порт-Фостер внутри острова Десепшен

Исходя из вышеизложенного, в интересах обеспечения национальной безопасности и присутствия России на Южном полюсе в переходный период в информационно-цифровое общество необходимо:

— заменить ведомственный подход к освоению шестого континента уровнем национального проекта, что нивелирует межведомственные разногласия, повысит эффективность управленческих решений, но и потребует соответствующего финансирования. До настоящего

времени финансирование исследований в Антарктике осуществляется в основном по линии Росгидромета и ведомственных программ Минприроды и Росрыболовства;

— проводить наступательную политику обеспечения своего присутствия в Антарктике, на практике — посредством увеличения численности экспедиций, научно-исследовательских и военных станций и баз, располагающихся секторально, по примеру других стран, а не веерно; в информационном пространстве — ударно на основе принципа преобладания виртуального понимания событий в мире над их реальным содержанием с привлечением сил и средств информационного противоборства. Например, в Интернете использовать приведенную выше информацию об украинской полярной станции «Академик Вернадский». Следует учесть, что активная информационная политика в глобальном пространстве в перспективе является наиболее выигрышной и обязательной стратегией по обретению достойного места в новом миропорядке, а содержание любой информации формирует представление современного человека об окружающем мире;

— на законодательном уровне закрепить роль России в освоении Антарктики не в форме претензии на некие особые права на Антарктиду — в соответствии с международными договоренностями ни одно из государств не может претендовать на контроль над Антарктикой, — а как неотъемлемое право в решении всех важнейших вопросов по изучению Южного полюса и использованию его природных ресурсов в будущем. К слову, еще в 1761 г. существование Антарктиды теоретически обосновал великий русский ученый М. Ломоносов в своем труде «О слоях земли»: «В близости Магелланского пролива, и против мыса Доброй надежды около 53 градусов полуденной ширины великие льды ходят: почему сомневаться не должно, что в большем отдалении острова и матерая земля многими и несходящими снегами покрыты, и что большая обширность земной поверхности около южного полюса, занята оными, нежели в севере» [14].

27 апреля 2018 г. Президент РФ В. Путин в своем выступлении на заседании Попечительского совета Русского географического общества подчеркнул: «Сфера топонимики, то есть названий географических и других объектов, в целом нуждается в особом внимании. Сегодня мы сталкиваемся с ситуацией, когда русские названия, которые давали еще в прошлые века и десятилетия наши исследователи и путешественники, постепенно вытесняются с карты мира. Подчеркну, тем самым стирается и память о вкладе России в изучение планеты и в развитие науки. Особенно это заметно в Антарктиде, где имена, данные первооткрывателями континента Лазаревым и Беллинсгаузеном, почти вышли из оборота. Сегодня лишь единицы знают, что изначальное, историческое название острова Смит — это Бородино, что Сноу — это Малый Ярославец, а Ливингстон — на самом деле Смоленск, и так далее и тому подобное»⁴. Понятно, что через отношение к исконно русским названиям проявляется и отношение к России в целом.

Москве следует:

— заручиться международной поддержкой своей позиции в арктическом вопросе, признанием российских прав на советский арктический сектор и взаимным признанием исторических претензий сторон в Арктике и Антарктике. То есть союзников в борьбе за Арктику Россия найдет в Антарктике и наоборот;

— рассматривать страны Латинской Америки как союзника в решении своих региональных проблем на обоих полюсах. Страны латиноамериканского региона являются значимыми акторами глобального мира, имеющими ресурсы для равного диалога с ведущими мировыми державами. Формирующийся же новый мировой порядок подразумевает региональное и субрегиональное взаимодействие на основе общих политических и экономических интересов.

⁴ Заседание попечительского совета РГО. URL: <http://www.kremlin.ru> (дата обращения: 17.04.2025).

В российской антарктической политике следует активно использовать стремление Чили и Аргентины к изменению в обозримом будущем системы Договора об Антарктике в части снятия ограничений на территориальные претензии и отсутствие единства по данному вопросу среди других государств региона, в частности Бразилии, не желающей усиления влияния региональных конкурентов.

Главным выводом должно стать понимание неизбежности битвы за богатый ресурсами район Южного полюса, где главным аргументом будет военная сила. Не только зоны ответственности вдоль государственной границы составляют активное оборонное пространство, но и скрытые системы космического, воздушного, морского радиотехнического мониторинга передового базирования на Южном и Северном полюсах. В этом отношении Антарктида — наиболее благоприятный и освоенный регион мира, в том числе для создания оружия на новых физических принципах. Сильная в военном отношении Россия — залог ее лидерства в новом жестком, прагматичном и национально ориентированном миропорядке.

Статья подготовлена к изданию при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания на 2025 г. № 075-00682-25-02.

Список литературы

1. ТАСС. URL: <https://tass.ru/mezhdunarodnaya-panorama/22820369?ysclid=m7lhn45ewy675410951> (дата обращения: 17.04.2025).
2. Названа цель отправки Китаем ледоколов в Антарктиду. URL: <https://www.mk.ru> (дата обращения: 17.04.2025).
3. Там же.
4. Carter P., Brady A.-M., Pavlov E. Russia's «smart power» foreign policy and Antarctica // The Polar Journal, 2016.
5. Cardone I.J., Fontana P.G. Latin-American contributions to the creation of the Antarctic regime // Polar Journal, 2019 (in press).
6. Sanchez A.W. An overview of Colombia's Antarctic programme // Polar Journal, 2018, № 8 (2).
7. Лукин В.В., Клоков В.Д., Помелов В.Н. Система договора об Антарктике: правовые акты, комментарии. СПб.: Гидрометеиздат, 2002.
8. От биполярного к многополярному миру: латиноамериканский вектор международных отношений в XXI в. Отв. ред. В.Л. Хейфец. М.: Издательство «Политическая энциклопедия», 2019.
9. Kheifets V.L. Latin America in search of new formats of international cooperation. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta // Mezhdunarodnye otnosheniya, 2019, vol. 12, № 2.
10. Лукин В.В. Зачем России Антарктида? // Наука и жизнь. 2006. № 10. URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/7593> (дата обращения: 17.04.2025).
11. Dolman E.C. Astropolitik: Classical Geopolitics in the Space Age. L.: Frank Cass, 2002.
12. Ивашов Л. Опрокинутый мир. Тайны прошлого — загадки грядущего. Что скрывают архивы Спецотдела НКВД, Аненербе и Верховного командования Вермахта. М.: Книжный мир, 2016.
13. Новый военный альянс США нацелен на Китай и Россию. Но серьезно к AUKUS пока не относятся. URL <https://360.ru>: (дата обращения: 17.04.2025).
14. Как Трамп может получить контроль над Гренландией и хочет ли этого остров. URL: <https://www.rbc.ru> (дата обращения: 17.04.2025).
15. О слоях земных (Ломоносов). URL: <https://ru.wikisource.org/> (дата обращения: 17.04.2025).
16. Горшечникова Д.: Антарктика: будущая борьба за территориальные владения. URL: <https://csef.ru/ru/politica-i-geopolitica/501/antarktika-budushhaya-borba-za-territorialnye-vladieniya-6002> (дата обращения: 17.04.2025).

17. Под ледяным покровом: 138 скрытых вулканов в Антарктиде. URL: <https://www.ixbt.com> (дата обращения: 17.04.2025).

18. Андреев А.С. Антарктида во внешней политике стран Латинской Америки // Латинская Америка. 2020. Вып. № 6.

19. Грейг О., Рудаков А. Антарктида глазами русской разведки. Грядет эпическая битва за белый континент. М.: ООО «Издательство Родина», 2023.

20. Международные отношения России в «новых политических пространствах»: Космос. Приполярные зоны. Воздушные и морские пространства. Глобальная информационная сфера / отв. ред. А.Д. Богатуров. М.: Ленанд, 2011.

References

1. TASS. Available at: <https://tass.ru/mezhdunarodnaya-panorama/22820369?ysclid=m7lhn45ewy675410951> (date of access: 17.04.2025).

2. *Nazvana tsel' otpravki Kitaem ledokolov v Antarktidu* [The purpose of sending icebreakers to Antarctica by China has been named]. Available at: <https://www.mk.ru> (date of access: 17.04.2025).

3. *Nazvana tsel' otpravki Kitaem ledokolov v Antarktidu* [The purpose of sending icebreakers to Antarctica by China has been named]. Available at: <https://www.mk.ru> (date of access: 17.04.2025).

4. Carter P., Brady A.-M., Pavlov E. (2016) Russia's «smart power» foreign policy and Antarctica. The Polar Journal.

5. Cardone I.J., Fontana P.G. (2019) Latin-American contributions to the creation of the Antarctic regime. Polar Journal.

6. Sanchez A.W. (2018) An overview of Colombia's Antarctic programme. Polar Journal. No. 8 (2).

7. Lukin V.V., Klovov V.D., Pomelov V.N. (2002) *Sistema dogovora ob Antarktike: pravovye akty, kommentarii* [The Antarctic Treaty System: legal acts, comments] *Gidrometeoizdat* [Gidrometeoizdat Publ.] St. Petersburg.

8. *Ot bipolyarnogo k mnogopolyarnomu miru: latinoamerikanskiy vektor mezhdunarodnykh otnosheniy v XXI v.* [From bipolar to multipolar world: Latin American vector of International relations in the XXI century] *Otv. red. V.L. Kheifets. Izdatel'stvo «Politicheskaya entsiklopediya»* [Ed. by V.L. Kheifets, Politicheskaya Entsiklopediya Publishing House]. Moscow. 2019.

9. Kheifets V.L. (2019) Latin America in search of new formats of international cooperation. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Mezhdunarodnye otnosheniya. Vol. 12, No. 2.

10. Lukin V.V. (2006) *Zachem Rossii Antarktida?* [Why does Russia need Antarctica?] *Nauka i zhizn'* [Science and Life]. No. 10. Available at: <https://www.nkj.ru/archive/articles/7593> (date of access: 17.04.2025).

11. Dolman E.C. (2002) *Astropolitik: Classical Geopolitics in the Space Age*. L. Frank Cass.

12. Ivashov L. (2016) *Oprokinutyy mir. Tayny proshlogo – zagadki gryadushchego. Chto skryvayut arkhivy Spetsotdela NKVD, Anenerbe i Verkhovnogo komandovaniya Vermakhta?* [The Overturned world. Secrets of the past – riddles of the future. What do the archives of the Special Department of the NKVD, Ahnenerbe and the Supreme Command of the Wehrmacht hide?] *Knizhnyy mir* [Knizhny Mir]. Moscow.

13. *Novyy voennyi al'yans SShA natselen na Kitay i Rossiyu. No ser'ezno k AUKUS poka ne otnosyatsya* [The new US military alliance targets China and Russia. But they don't take AUKUS seriously yet]. Available at: <https://360.ru>: (date of access: 17.04.2025).

14. *Kak Tramp mozhet poluchit' kontrol' nad Grenlandiye i khochet li etogo ostrov* [How Trump can gain control of Greenland and whether the island wants it]. Available at: <https://www.rbc.ru> (date of access: 17.04.2025).

15. *O sloyakh zemnykh (Lomonosov)* [About the layers of the earth (Lomonosov)]. Available at: <https://ru.wikisource.org> (date of access: 17.04.2025).

16. *Diana Gorshechnikova: Antarktika: budushchaya bor'ba za territorial'nye vladeniya* [Diana Gorshechnikova: Antarctica: The Future Struggle for Territorial Possessions]. Available at: <https://csef.ru/ru/politica-i-geopolitica/501/antarktika-budushchaya-borba-za-territorialnye-vla-deniya-6002> (date of access: 17.04.2025).

17. *Pod ledyanyim pokrovom: 138 skrytykh vulkanov v Antarktide* [Under the ice cover: 138 hidden volcanoes in Antarctica]. Available at: <https://www.ixbt.com> (date of access: 17.04.2025).
18. Andreev A.S. (2020) *Antarktida vo vneshney politike stran Latinskoy Ameriki* [Antarctica in the foreign policy of Latin American countries] *Latinskaya Amerika* [Latin American]. Issue No. 6.
19. Greig O., Rudakov A. (2023) *Antarktida glazami russkoy razvedki. Gryadet epicheskaya bitva za belyy kontinent* [Antarctica through the eyes of Russian intelligence. The epic battle for the white Continent is coming] *ООО «Izdatel'stvo Rodina»* [Rodina Publishing House]. Moscow.
20. *Mezhdunarodnye otnosheniya Rossii v «novykh politicheskikh prostranstvakh»: Kosmos. Pripolyarnye zony. Vozdushnye i morskoe prostranstva. Global'naya informatsionnaya sfera* [Russia's International Relations in the «new political spaces»: Space. Circumpolar zones. Air and sea spaces Global Information Sphere] *Otv. red. A.D. Bogaturov. Lenand* [Ed. by A.D. Bogaturov. Lenand Publ]. Moscow. 2011.

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE RUSSIAN FEDERATION

SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE – FEDERAL RESEARCH CENTRE
FOR PROJECTS EVALUATION AND CONSULTING SERVICES
(SRI FRCEC)

INNOVATICS AND EXPERT EXAMINATION

ISSUE 1 (39)

MOSCOW 2025

ИННОВАТИКА И ЭКСПЕРТИЗА

1 (39)

Москва 2025

Технический редактор *А.А. Тугаринов*
Компьютерная верстка *А.А. Тугаринов*
Корректор *А.В. Соколова*

Сдано в набор 11.10.2025. Подписано в печать 15.11.2025.
Формат 205×287. Бумага 80 г/м².
Тираж 60. Заказ № 32.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Научно-исследовательский институт –
Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы»
г. Москва, ул. Образцова, д. 12, корп. 2