

FEBRUARY 2026 | ISSUE #2(2)

**INTERNATIONAL JOURNAL
OF PROFESSIONAL
SCIENCE**

.....

INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL



SCIPRO.RU

ISSN 2542-1085

SOCIAL SCIENCES AND HUMANITIES

UDC 001
LBC 72

International Journal Of Professional Science: international scientific journal, Nizhny Novgorod, Russia: Scientific public organization “Professional science”, №2(2) - 2026. 62 p.

ISSN 2542-1085

International journal of Professional Science is the research and practice edition which includes the scientific articles of students, graduate students, postdoctoral students, doctoral candidates, research scientists of Russia, the countries of FSU, Europe and beyond, reflecting the processes and the changes occurring in the structure of present knowledge.

It is destined for teachers, graduate students, students and people who are interested in contemporary science.

All articles included in the collection have been peer-reviewed and published in the form in which they were presented by the authors. The authors are responsible for the content of their articles.

The information about the published articles is provided into the system of the Russian science citation index – RSCI under contract № 2819-10/2015K from 14.10.2015

The electronic version is freely available on the website <http://scipro.ru/ijps.html>

UDC 001

LBC 72



Editorial team

Chief Editor – Krasnova Natalya, PhD, assistant professor of accounting and auditing the Nizhny Novgorod State University of Architecture and Construction. (mail@nkrasnova.ru)

Zhanar Zhanpeisova — Kazakhstan, PhD

Khalmatova Barno Turdyhodzhaeva — Uzbekistan, MD, Professor, Head of the Tashkent Medical Academy

Tursunov Dilmurat Abdullazhanovich — Kyrgyzstan, PhD, Osh State University

Ekaterina Petkova, Ph.D Medical University — Plovdiv

Stoyan Papanov PhD, Department of Pharmacognosy and pharmaceutical chemistry, Faculty of Pharmacy, Medical University — Plovdiv

Materials printed from the originals filed with the organizing committee responsible for the accuracy of the information are the authors of articles

Editors N.A. Krasnova, 2026

Article writers, 2026

Scientific public organization
“Professional science”, 2026

Table of contents

INTRODUCTION	5
ENVIRONMENT AND ECOLOGY	6
Doronkin R.V. Digital Barriers to the Provision of Environmental Public Services and Legal Conflicts of the Registry Model	6
Konogray R.D. Analysis of technical measures for land reclamation in Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra	13
GEOLOGY AND GEOPHYSICS	17
Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifulina I.Yu., Sharov P.E. Assessment of the mineral resource’s potential of the Magadan Region and directions for its development.....	17
INDUSTRIAL RESEARCH AND PRODUCTION	25
Gadaev D.S., Belova Y.A., Belov P.S., Grintsova E.A., Grigorieva S.Y., Chorjeva A.A. Dust hazards in powder coating production: causes, consequences, and methods for controlling and reducing risks	25
PHYSICAL SCIENCES.....	31
Nguyen Van Lam, Bui Van Hieu, Nguyen Van Quang, Hoang Danh Khanh. Investigation of heat flux at the critical point of a surface under hypersonic flow	31
REVIEWS AND ANALYSIS	39
Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifulina I.Yu., Guzenko A.D. Analysis of the impact of global metal and coal price volatility on the financial stability of mining companies....	39
Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Lomakina N.E., Sharov P.E. Assessment of the mineral resource’s potential of the Magadan Region and directions for its development.....	46
TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS	55
Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifulina I.Yu., Remizov N.A. Application of laser scanning for monitoring mine spaces during underground mining.....	55
CONCLUSION	61

INTRODUCTION

Dear readers!

We present to you the latest issue of the International Journal of Professional Science, No. 2(2), whose content reflects the interdisciplinary nature of modern scientific research. In an era of rapid digitalization and global economic transformation, the academic community is faced with the need to synthesize technological solutions and deeply analyze external risks.

This issue opens with a section on ecology and environmental protection, focusing on the digital transformation of public services and current land reclamation methods in northern regions. The section on geology, geophysics, and industrial research presents a comprehensive look at the resource base of Russia's eastern territories and industrial safety issues when working with modern coatings.

The issue's physics and mathematics focus is represented by complex studies of heat flows in hypersonic aerodynamics. A significant portion of the issue is devoted to analytical reviews devoted to the impact of global market conditions on the sustainability of the mining sector, as well as the implementation of innovative laser scanning technologies in mining. We hope that the materials presented will provide a reliable basis for further professional discussions and serve as a catalyst for new applied developments in the scientific community.

With best wishes and warm regards,
Editor-in-Chief
International Journal of Professional Science
Krasnova N.A.

ENVIRONMENT AND ECOLOGY

UDC 340 : 349.6 : 338.24 : 004

Doronkin R.V. Digital Barriers to the Provision of Environmental Public Services and Legal Conflicts of the Registry Model

Цифровые барьеры реализации экологических государственных услуг и правовые коллизии реестровой модели

Doronkin Roman V.,

Senior Lecturer at the Moscow Psycho-Social University
Доронькин Р.В.,

старший преподаватель Московского психолого-социального университета

Abstract. *The article analyzes the transition of the Russian industrial sector to a fully electronic model for obtaining Integrated Environmental Permits (IEP) via the State Industry Information System (SIIS/GISP). The study examines the technological gap that emerged between 2025 and 2026 between the regulatory requirements of environmental legislation and the functional capabilities of digital platforms. Particular attention is paid to the "registry model" of public service delivery, the legal and economic risks associated with inaccurate data representation in the registry, and the impact of these factors on the investment attractiveness of Category I enterprises.*

Keywords: IEP (Integrated Environmental Permit), GISP (State Industry Information System), Rosprirodnadzor, BAT (Best Available Techniques), digital transformation, registry model, environmental compliance, ESG.

Аннотация. В статье анализируется переход промышленного сектора РФ на полностью электронную модель получения Комплексных экологических разрешений (КЭР) посредством Государственной информационной системы промышленности (ГИСП). В работе исследуется возникший в 2025–2026 гг. технологический разрыв между нормативными требованиями природоохранного законодательства и функциональными возможностями цифровых платформ. Уделяется внимание «реестровой модели» предоставления госуслуг, правовым и экономическим рискам некорректного отображения данных в реестре и влиянию этих факторов на инвестиционную привлекательность предприятий I категории.

Ключевые слова: КЭР, ГИСП, Росприроднадзор, НДТ, цифровая трансформация, реестровая модель, экологический комплаенс, ESG

Рецензент: Сагитов Рамиль Фаргатович - кандидат технических наук, доцент. Заместитель директора, главный научный сотрудник. ООО «Научно-исследовательский проектный институт «Промышленное и гражданское строительство»

С 1 января 2025 года процедура получения КЭР стала безальтернативно цифровой. Согласно Федеральному закону от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»¹ (установившего обязанность получения КЭР), Федерального закона от 27.07.2010 № 210-ФЗ² (регулирующего переход на реестровую модель

¹ Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (с изменениями на 28 декабря 2025 года) // Собрание законодательства Российской Федерации, № 2, 14.01.2002, ст. 133.

² Федеральный закон от 27.07.2010 № 210-ФЗ «Об организации предоставления государственных и муниципальных услуг» (с изменениями на 29 декабря 2025 года) // Собрание законодательства Российской Федерации, № 31, 02.08.2010, ст. 4179.

предоставления госуслуг), постановлению Правительства РФ № 1430³, от 04.08.2022 № 1386⁴ (регулирует порядок рассмотрения заявок на получение КЭР), от 21.09.2021 № 1587⁵ (устанавливает критерии «зеленых» проектов (связь КЭР и льготного финансирования), приказу Минприроды РФ № 811⁶ (установившего требования к содержанию программы экологического контроля (ПЭК), как основы заявки на получение КЭР), письму Росприроднадзора от 14.05.2025⁷ (давшего разъяснения по работе в ГИС «Экология» и ГИСП), взаимодействие заявителя и регулятора (Росприроднадзора) осуществляется исключительно через личный кабинет в ГИСП, интегрированный с порталом Госуслуг (ЕСИА). Однако на практике возник эффект «бутылочного горлышка»: концентрация сотен заявок от гигантов индустрии привела к системным сбоям, ставящим под угрозу легитимность работы предприятий I категории.

Основная проблема 2026 года заключается в несовпадении форматов данных. Программные алгоритмы ГИСП зачастую отклоняют заявки⁸ из-за:

- невозможности загрузки объемных картографических материалов (тома НВД, НДС)⁹;
- автоматического форматно-логического контроля (ФЛК), который конфликтует с методиками расчетов, утвержденными Минприроды;
- правовой коллизии: согласно ст. 8.47 КоАП РФ¹⁰, отсутствие КЭР влечет штраф, но закон не учитывает «техническую невозможность» подачи заявки из-за сбоев ГИСП,

³ Постановление Правительства РФ от 15.09.2020 № 1430 «Об утверждении технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов» // Собрание законодательства Российской Федерации, № 39, 28.09.2020, ст. 6029.

⁴ Постановление Правительства РФ от 04.08.2022 № 1386 О порядке рассмотрения заявок на получение комплексных экологических разрешений, выдачи, пересмотра, отзыва комплексных экологических разрешений и внесения в них изменений (с изменениями на 29 октября 2024 года) // Собрание законодательства Российской Федерации, № 33, 15.08.2022, ст. 5902.

⁵ Постановление Правительства РФ от 21.09.2021 № 1587 «Об утверждении критериев проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в Российской Федерации и требований к системе верификации инструментов финансирования устойчивого развития в Российской Федерации» (с изменениями на 14 октября 2025 года) // Собрание законодательства Российской Федерации, № 40, 04.10.2021, ст. 6818.

⁶ Приказ Минприроды России от 28.11.2019 № 811 «Об утверждении требований к мероприятиям по уменьшению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в периоды неблагоприятных метеорологических условий» // Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 26.12.2019, № 0001201912260020.

⁷ Письмо Росприроднадзора от 14.05.2025 № АА-10-01-34/15280 «О направлении разъяснений по порядку взаимодействия информационных систем ГИС «Экология» и ГИСП при предоставлении государственной услуги по выдаче КЭР».

⁸ Решение Арбитражного суда г. Москвы от 21.12.2023 по делу № А40-192534/23-149-1466; Постановление Арбитражного суда Московского округа от 01.12.2022 № Ф05-28847/2022 по делу № А40-272051/2021; Постановление Арбитражного суда Поволжского округа от 25.02.2021 № Ф06-70138/2020 по делу № А12-14371/2020; Решение Арбитражного суда Свердловской области от 15.06.2022 по делу № А60-12889/2022.

⁹ Проекты НДВ (нормативов допустимых выбросов) и НДС (нормативов допустимых сбросов).

¹⁰ Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях (с изменениями на 29 декабря 2025 года) // Российская газета, № 256, 31.12.2001.

а точнее сложность сбора доказательственной базы отсутствия вины субъекта правонарушения.

С марта 2026 года бумажное разрешение не имеет юридической силы. Юридическим фактом является только запись в государственном реестре, так называемая «реестровая модель»¹¹. При этом возникает проблема на случай возникновения кибератаки или технической ошибки в базе данных ГИСП, предприятие де-юре становится нарушителем, что ведет к применению коэффициента 100 к платежам за негативное воздействие на окружающую среду (НВОС) (постановление Правительства РФ № 881¹²).

Правоприменительной практике выявлен системный дефект, который можно назвать «цифровой презумпцией виновности». ГИСП, выступая в роли безальтернативного интерфейса между бизнесом и государством, создала ряд критических узких мест («Бутылочного горлышка»), которые можно разделить на три группы¹³:

1) ошибки ФЛК и их правовые последствия: алгоритмы ГИСП настроены на жесткую верификацию вводимых данных, что в 2025 году привело к автоматическим отказам без рассмотрения заявки по существу (конфликт методик: при заполнении таблиц по выбросам (согласно приказу Минприроды № 811) система требует округления до 6 знаков после запятой, в то время как отраслевые расчетные методики (например, для нефтехимии) оперируют иными величинами, что приводит к математической ошибке баланса масс, и система блокирует отправку заявки; неактуальность справочников НДТ: ГИСП интегрирована с базой данных ИТС (информационно-технических справочников), при обновлении справочника (например, в рамках импортозамещения технологий) данные в ГИСП обновляются с задержкой в 3 - 6 месяцев, в результате предприятие подает заявку на базе нового оборудования, а система выдает ошибку, что «технология не соответствует справочнику НДТ»);

2) коллизия «цифрового следа» и сроков устранения замечаний: согласно постановлению Правительства РФ № 1386, у предприятия есть 30 рабочих дней на устранение замечаний. Однако возникают следующие проблемы, например, сбой тайминга: технические работы на стороне Госуслуг (ЕСИА) или ГИСП часто приходится

¹¹ В терминологии ст. 7.4 Федерального закона от 27.07.2010 № 210-ФЗ «Об организации предоставления государственных и муниципальных услуг»

¹² Постановление Правительства РФ от 31.05.2023 № 881 «Об утверждении Правил исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду и о признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации и отдельного положения акта Правительства Российской Федерации» (с изменениями на 20 сентября 2025 года) // Собрание законодательства Российской Федерации, № 23, (ч. 1), 05.06.2023, ст. 4191.

¹³ Официальный сайт ГИСП. Часто задаваемые вопросы «Комплексное экологическое разрешение (КЭР)» // <https://gis.gov.ru/mainpage/faq/24933#vor5.1.5>. Дата обращения: 09.06.2026.

на последние дни дедлайна, если система не работает 48 часов, срок подачи не продлевается автоматически, так как в законодательстве отсутствует норма о «форс-мажоре цифровой инфраструктуры»; отсутствие «черновика» с юридическим статусом: в отличие от бумажной почты, где дата штампа является доказательством отправки, в ГИСП статус «Черновик» не имеет юридической силы, если кнопка «Отправить» не сработала из-за критической ошибки сайта, предприятие де-юре пропускает срок, установленный федеральным законом.

Поэтому указанные ошибки переводят риск технического сбоя ИТ-системы в плоскость огромных финансовых потерь, в том числе добавочный коэффициент 100 к плате за НВОС. В связи с чем необходимо закрепление в ст. 31.1 Федерального закона № 7-ФЗ понятия «техническая невозможность реализации госуслуги», позволяющего приостанавливать начисление штрафных санкций на период документального подтверждения сбоя ГИСП.

Более того для «голубых фишек» и компаний из котировальных списков Мосбиржи реестровая модель создала дополнительные барьеры при проведении ежегодного аудита, так называемую «проблему непрерывности». Например, Банки-верификаторы «зеленых» кредитов используют API-интеграцию¹⁴ с ГИСП для автоматической проверки статуса КЭР клиента. Краткосрочное «исчезновение» записи из реестра вследствие технических работ в ГИСП (эффект «бутылочного горлышка») инициирует автоматический сигнал о нарушении экологических ковенант.

Это может привести к техническому дефолту по облигациям или резкому снижению ESG-рейтинга¹⁵ и повышению кредитной ставки, основанному на алгоритмической оценке.

Например, Постановлением Правительства РФ от 21.09.2021 № 1587¹⁶ утверждена национальная таксономия. Согласно п. 4, проект признается «зеленым» только при условии соблюдения экологического законодательства России. Соответственно отсутствие записи о КЭР в реестре де-юре означает нелегитимность деятельности объекта 1 категории, что позволяет верификатору отозвать статус

¹⁴ API (Application Programming Interface) — это «мост» или интерфейс, который позволяет двум разным программам обмениваться данными друг с другом без участия человека.

¹⁵ ESG (Environmental, Social, and Governance) — это критерии устойчивого развития, включающие экологическое воздействие, социальную ответственность и корпоративное управление, используемые для оценки долгосрочной устойчивости компаний. Факторы включают сокращение выбросов (E), безопасность труда и соблюдение прав (S), а также прозрачность и борьбу с коррупцией (G), что помогает минимизировать риски и привлекать инвестиции. Также см. Информационное письмо Банка России от 16.12.2021 № ИН-06-28/96 «О рекомендациях по учету советом директоров публичного акционерного общества ESG-факторов, а также вопросов устойчивого развития».

¹⁶ Постановление Правительства РФ от 21.09.2021 № 1587 «Об утверждении критериев проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в Российской Федерации и требований к системе верификации инструментов финансирования устойчивого развития в Российской Федерации» (с изменениями на 14 октября 2025 года) // Собрание законодательства Российской Федерации, № 40, 04.10.2021, ст. 6818.

«зеленого» проекта. А постановление Правительства РФ от 11.03.2023 № 1588¹⁷ в свою очередь регулирует такую деятельность верификаторов, которые обязаны ежегодно осуществлять мониторинг соответствия. Если при автоматизированной проверке через API ГИСП запись о КЭР не будет обнаружена, то верификатор обязан фиксировать нарушение. При этом Центральный Банк России обязывает банковский сектор учитывать экологические риски при оценке заемщиков. Например, в информационном письме Банка России от 12.07.2021 № ИН-06-28/49¹⁸: банкам рекомендуется интегрировать ESG-факторы в системы управления рисками. Отсутствие КЭР классифицируется как «регуляторный риск». А согласно Положению ЦБ РФ № 590-П¹⁹: резкое ухудшение экологического комплаенса (отсутствие разрешения) обязывает банк пересмотреть категорию качества ссуды и доначислить резервы, что автоматически ведет к требованию повысить процентную ставку для заемщика.

Проведенное исследование показывает, что переход к безальтернативному электронному взаимодействию и внедрение реестровой модели определили технологическую готовность государственной ИТ-инфраструктуры. Но при этом эффект «бутылочного горлышка» трансформировался из технического сбоя в системный правовой и экономический риск для крупных промышленных эмитентов («голубых фишек»).

Исследование подтверждает, что для минимизации эффекта «бутылочного горлышка» необходимо внесение в Федеральный закон № 7-ФЗ, предусматривающий «технологический мораторий» на штрафы в случае подтверждения технических сбоев ГИСП. Также требуется гармонизация алгоритмов ФЛК ГИСП с актуальными справочниками НДТ 2025–2026 гг.

Сама по себе реестровая модель КЭР в ее текущем исполнении характеризуется высокой степенью асимметрии прав: государство обладает монополией на управление записью, а бизнес несет все риски технической нестабильности системы. В связи с чем, также, необходимо законодательное закрепление статуса «архивной копии реестра» как юридически значимого доказательства правомерности действий предприятия в случае технических сбоев ГИСП. Реестровая модель — это прогрессивный шаг, однако

¹⁷ Постановление Правительства РФ от 11.03.2023 № 373 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 21 сентября 2021 г. № 1587» // Собрание законодательства Российской Федерации, 20.03.2023, № 12, ст. 2026.

¹⁸ информационное письмо Банка России от 12.07.2021 № ИН-06-28/49 «О рекомендациях по раскрытию публичными акционерными обществами нефинансовой информации, связанной с деятельностью таких обществ» // https://cbr.ru/StaticHtml/File/117620/20210712_in-06-28_49.pdf - дата обращения: 09.02.2026.

¹⁹ Положение Банка России от 28.06.2017 № 590-П «О порядке формирования кредитными организациями резервов на возможные потери по ссудам, ссудной и приравненной к ней задолженности» // Вестник Банка России, № 65–66, 04.08.2017.

без введения регламента «цифрового алиби»²⁰ для предприятий, она превращается в инструмент непредсказуемого давления на бизнес.

References

1. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (с изменениями на 28 декабря 2025 года) // Собрание законодательства Российской Федерации, № 2, 14.01.2002, ст. 133.
2. Федеральный закон от 27.07.2010 N 210-ФЗ «Об организации предоставления государственных и муниципальных услуг» (с изменениями на 29 декабря 2025 года) // Собрание законодательства Российской Федерации, № 31, 02.08.2010, ст. 4179.
3. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях (с изменениями на 29 декабря 2025 года) // Российская газета, № 256, 31.12.2001.
4. Постановление Правительства РФ от 04.08.2022 № 1386 О порядке рассмотрения заявок на получение комплексных экологических разрешений, выдачи, пересмотра, отзыва комплексных экологических разрешений и внесения в них изменений (с изменениями на 29 октября 2024 года) // Собрание законодательства Российской Федерации, № 33, 15.08.2022, ст. 5902.
5. Постановление Правительства РФ от 11.03.2023 № 373 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 21 сентября 2021 г. № 1587» // Собрание законодательства Российской Федерации, 20.03.2023, № 12, ст. 2026.
6. Постановление Правительства РФ от 15.09.2020 № 1430 «Об утверждении технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов» // Собрание законодательства Российской Федерации, № 39, 28.09.2020, ст. 6029.
7. Постановление Правительства РФ от 21.09.2021 № 1587 «Об утверждении критериев проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в Российской Федерации и требований к системе верификации инструментов финансирования устойчивого развития в Российской Федерации» (с изменениями на 14 октября 2025 года) // Собрание законодательства Российской Федерации, № 40, 04.10.2021, ст. 6818.
8. Постановление Правительства РФ от 21.09.2021 № 1587 «Об утверждении критериев проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в Российской Федерации и требований к системе верификации инструментов финансирования

²⁰ Рудакова С.В. Цифровое алиби и цифровые доказательства // Юридический вестник Кубанского государственного университета. 2019. № 1. С. 56-59.

устойчивого развития в Российской Федерации» (с изменениями на 14 октября 2025 года) // Собрание законодательства Российской Федерации, № 40, 04.10.2021, ст. 6818.

9. Постановление Правительства РФ от 31.05.2023 № 881 «Об утверждении Правил исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду и о признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации и отдельного положения акта Правительства Российской Федерации» (с изменениями на 20 сентября 2025 года) // Собрание законодательства Российской Федерации, № 23, (ч. I), 05.06.2023, ст. 4191.

10. Приказ Минприроды России от 28.11.2019 № 811 «Об утверждении требований к мероприятиям по уменьшению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в периоды неблагоприятных метеорологических условий» // Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 26.12.2019, № 0001201912260020.

11. Положение Банка России от 28.06.2017 № 590-П «О порядке формирования кредитными организациями резервов на возможные потери по ссудам, ссудной и приравненной к ней задолженности» // Вестник Банка России, № 65–66, 04.08.2017.

12. Письмо Росприроднадзора от 14.05.2025 № АА-10-01-34/15280 «О направлении разъяснений по порядку взаимодействия информационных систем ГИС «Экология» и ГИСП при предоставлении государственной услуги по выдаче КЭР».

13. Информационное письмо Банка России от 12.07.2021 № ИН-06-28/49 «О рекомендациях по раскрытию публичными акционерными обществами нефинансовой информации, связанной с деятельностью таких обществ» // https://cbr.ru/StaticHtml/File/117620/20210712_in-06-28_49.pdf. Дата обращения: 09.02.2026.

14. Информационное письмо Банка России от 16.12.2021 № ИН-06-28/96 «О рекомендациях по учету советом директоров публичного акционерного общества ESG-факторов, а также вопросов устойчивого развития» // https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_404335/dc190c98bdd663f1581d091e4b757506b25b7f4c/. Дата обращения: 09.02.2026.

15. Рудакова С.В. Цифровое алиби и цифровые доказательства // Юридический вестник Кубанского государственного университета. 2019. № 1. С. 56-59.

UDC 631.618:622.276

Konogray R.D. Analysis of technical measures for land reclamation in Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra

Анализ технических мероприятий по рекультивации нарушенных земель в Югре

Konogray Regina Dmitrievna

Master's Student. Surgut State University

Конограй Регина Дмитриевна

Магистрант. Сургутский государственный университет

Abstract *The article examines the natural and climatic conditions of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra (ХМАО–Yugra) as a key factor influencing the selection of technical solutions for land reclamation. Engineering measures applied during the restoration of lands disturbed by field development are analyzed. It is shown that reclamation efficiency in Western Siberia largely depends on accounting for waterlogged landscapes, permafrost distribution, and low soil bearing capacity, which necessitates the use of adapted engineering approaches.*

Keywords: *land reclamation, disturbed lands, technical stage, ХМАО–Yugra, northern regions, engineering preparation of territory.*

Аннотация *Рассмотрены природно-климатические особенности Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (далее – ХМАО-Югра) как определяющий фактор выбора технологий восстановления нарушенных земель. Выполнен анализ инженерно-технических мероприятий, применяемых при рекультивации территорий недропользования. Показано, что эффективность работ обеспечивается адаптацией технологий к условиям заболоченности, многолетней мерзлоты и слабой несущей способности грунтов, а также применением ресурсосберегающих решений и минимизацией механического воздействия на природную среду.*

Ключевые слова: *рекультивация земель, технический этап, недропользование, техногенные ландшафты, инженерная подготовка территории, Западная Сибирь*

Рецензент: Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Введение

Вопрос восстановления нарушенных земель на территории Западной Сибири в настоящее время остается одним из наиболее актуальных, поскольку освоение природных ресурсов сопровождается значительным воздействием на окружающую среду. Особенно остро данная проблема проявляется в районах Крайнего Севера, где природные условия сами по себе являются уязвимыми, а процессы самовосстановления протекают медленно.

ХМАО - Югра относится к числу регионов с интенсивным промышленным освоением, что обуславливает необходимость системного подхода к рекультивации земель. При этом стандартные методы, применяемые в других природных зонах, здесь оказываются недостаточно эффективными, что требует учета специфики местных ландшафтов.

Целью данной работы является анализ технических мероприятий по рекультивации нарушенных земель в ХМАО-Югре с учетом природных условий региона и действующей нормативной базы.

Природно-географические условия региона

ХМАО-Югра расположен в пределах Западно-Сибирской равнины и занимает площадь 534,8 тыс. км².

Территория характеризуется равнинным рельефом, значительной заболоченностью и избыточным увлажнением.

Климат округа континентальный, с продолжительной холодной зимой и коротким теплым периодом; безморозный период составляет 80–115 дней. В северных районах распространены многолетнемерзлые породы, влияющие на устойчивость грунтов и условия строительства.

Почвенный покров представлен подзолистыми, болотными и торфяными почвами, формирующимися в условиях переувлажнения и низких температур. Такие почвы обладают низкой несущей способностью и высокой чувствительностью к техногенному воздействию.

Указанные особенности формируют жесткие ограничения для проведения восстановительных работ и требуют применения специализированных инженерных решений.

Нормативные основы рекультивации

В настоящее время проведение рекультивации нарушенных земель регулируется рядом нормативных документов различного уровня.

Правовую основу составляет Постановление Правительства РФ № 781 от 29.05.2025, устанавливающее правила проведения рекультивации и консервации земель, требования к проектной документации и результатам восстановительных работ [1].

Классификация нарушенных территорий осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 59060–2020, который позволяет систематизировать виды нарушений и определить направления восстановления земель [2].

Общие требования к организации рекультивационных мероприятий закреплены в ГОСТ Р 59057–2020, распространяющемся на различные виды хозяйственной деятельности [3].

Инженерные параметры выполнения работ регламентируются СП 45.13330.2017, устанавливающим требования к земляным работам, формированию откосов и обеспечению устойчивости оснований [4].

Совместное применение указанных документов обеспечивает как экологическую, так и техническую обоснованность принимаемых решений.

Технические мероприятия по рекультивации нарушенных земель

Технический этап рекультивации нарушенных земель направлен прежде всего на приведение территории в состояние, пригодное для дальнейшего естественного восстановления и безопасного использования.

К основным видам работ относятся:

- демонтаж временных сооружений и оборудования;
- планировка поверхности;
- восстановление рельефа;
- устройство устойчивых оснований на слабых грунтах.

В условиях заболоченной местности широко применяется формирование песчаных оснований, позволяющих обеспечить необходимую устойчивость площадок. После завершения эксплуатации выполняется выравнивание территории с учетом природного рельефа

При рекультивации учитывается различие типов нарушенных участков, поскольку скорость их восстановления и требования к инженерной подготовке неодинаковы

Современный подход ориентирован на сокращение объемов перемещения грунтов и минимизацию дополнительного техногенного воздействия, что особенно важно в условиях северных экосистем.

Заключение

Проведенный анализ показывает, что рекультивация нарушенных земель в ХМАО-Югре должна рассматриваться как сложный инженерно-экологический процесс, напрямую зависящий от природных условий региона.

Наиболее существенными факторами, определяющими выбор технических решений, являются высокая заболоченность территории, распространение многолетней мерзлоты и слабая устойчивость почв. Это требует применения адаптированных методов планировки и стабилизации грунтов, а также минимизации объемов земляных работ.

Сформированная в регионе практика восстановления земель может рассматриваться как пример адаптации рекультивационных технологий к условиям северных территорий.

References

1. Постановление Правительства РФ от 29.05.2025 № 781 «Об утверждении Правил проведения рекультивации и консервации земель»;
2. ГОСТ Р 59060–2020. Классификация нарушенных земель в целях рекультивации. – М. : Стандартинформ, 2020;
3. ГОСТ Р 59057–2020. Общие требования по рекультивации нарушенных земель. – М. : Стандартинформ, 2020;
4. СП 45.13330.2017. Земляные сооружения, основания и фундаменты. – М. : Минстрой России, 2017;
5. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. – М. : Минстрой России, 2020.

GEOLOGY AND GEOPHYSICS

UDC 553.04 + 338.45:622(571.65)

Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifulina I.Yu., Sharov P.E. Assessment of the mineral resource's potential of the Magadan Region and directions for its development

Оценка минерально-сырьевого потенциала Магаданской области и направления его
вовлечения в разработку

Arno Veronika Vladimirovna

Ph.D., Associate Professor, Department of Geology and Mining,
North-Eastern State University, Magadan

Kolesnichenko Eva Pavlovna

Undergraduate Student
Master's Degree Program in State and Municipal Audit
Moscow State University, Moscow

Garifulina Irina Yurievna,

Ph.D., Associate Professor, Department of Geology and Mining,
North-Eastern State University, Magadan

Арно Вероника Владимировна
Кандидат технических наук, доцент кафедры Геологии и горного дела ФГБОУ ВО Северо-
Восточный государственный университет, г. Магадан

Sharov Pavel Egorovich,
Undergraduate Student
of Polytechnic Institute North-Eastern State University, Magadan

Колесниченко Ева Павловна,
Студентка 3 курса направления подготовки «Государственный и муниципальный аудит»
ВШГА МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Гарифулина Ирина Юрьевна,
Кандидат технических наук, доцент кафедры Геологии и горного дела ФГБОУ ВО Северо-
Восточный государственный университет, г. Магадан

Sharov Pavel Egorovich,
Студент 3 курса. Политехнический институт
ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет

Abstract. *The article examines the impact of global metal and coal price volatility on the financial stability of mining companies. It is shown that price fluctuations directly affect companies' revenues, profitability and leverage, increasing the risk of financial imbalance. The research methodology is based on assessing price volatility using logarithmic returns and standard deviation, as well as analyzing financial ratios such as liquidity, leverage, profitability and interest coverage. The paper presents case studies of MMC Norilsk Nickel and UC RUSAL, which demonstrate different resilience to adverse price shocks under high volatility of nickel and aluminum prices. The results indicate that companies with high leverage and negative free cash flow are more vulnerable to price volatility, whereas the use of hedging instruments, business diversification and disciplined capital spending can mitigate its adverse effects on financial stability.*

Keywords: *price volatility; metals; coal; mining companies; financial stability; leverage; profitability; hedging; diversification.*

Аннотация. В статье рассматривается влияние волатильности мировых цен на металлы и уголь на финансовую устойчивость горнодобывающих компаний. Показано, что ценовые колебания оказывают прямое воздействие на выручку, рентабельность и долговую нагрузку компаний, усиливая риск нарушения финансового равновесия. Методика исследования основана на оценке волатильности цен с использованием логарифмической доходности и стандартного отклонения, а также на анализе финансовых коэффициентов (ликвидности, долгового рычага, рентабельности, покрытия процентов). В качестве примеров рассмотрены ПАО «ГМК «Норильский никель» и ОК РУСАЛ, демонстрирующие различную устойчивость к негативным ценовым шокам при высокой изменчивости цен на никель и алюминий. Показано, что компании с высокой долговой нагрузкой и отрицательным свободным денежным потоком более чувствительны к ценовой волатильности, тогда как применение хеджирования, диверсификации и дисциплинированной инвестиционной политики позволяет смягчать её негативное влияние.

Ключевые слова: волатильность цен; металлы; уголь; горнодобывающие компании; финансовая устойчивость; долговая нагрузка; рентабельность; хеджирование; диверсификация.

Рецензент: Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Введение

Магаданская область является одним из ключевых горнодобывающих регионов России, входящим в число лидеров по добыче золота и серебра и обладающим значительными запасами углей и неметаллического сырья. Основу минерально-сырьевой базы составляют месторождения благородных металлов (золото, серебро), угольные бассейны, а также ресурсы цветных и редких металлов, строительного и нерудного сырья. По оценкам региональных властей, разведанные запасы золота превышают 2 тыс. т, а прогнозные ресурсы оцениваются в 4,3–4,32 тыс. т, что обеспечивает устойчивые перспективы развития золотодобывающего комплекса. В 2024 году добыча золота в области достигла около 54,1 т, серебра - более 423 т, что подтверждает высокую степень вовлечённости минеральной базы в разработку, но при этом сохраняется значительный неосвоенный потенциал [1-2].

Цель исследования - оценить минерально-сырьевой потенциал Магаданской области и обосновать приоритетные направления его дальнейшего вовлечения в разработку. Для достижения цели решаются задачи: (1) анализ структуры и объёмов запасов основных видов полезных ископаемых; (2) оценка текущего уровня освоения и динамики добычи; (3) расчёт обеспеченности запасами и потенциального прироста добычи; (4) формирование предложений по направлениям вовлечения ресурсов в хозяйственный оборот.

Материалы и методы

В качестве исходных данных использованы официальная информация органов региональной власти и аналитических центров (о запасах и добыче золота, серебра, угля, неметаллического сырья), а также результаты научных публикаций по минерально-сырьевому комплексу Магаданской области. Показатели запасов и добычи

структурированы по видам полезных ископаемых и сопоставлены с фактическими объёмами их освоения за последние годы [3-5].

Расчётные показатели

Для количественной оценки степени вовлечения минерально-сырьевого потенциала применяются следующие показатели.

Обеспеченность добычи разведанными запасами для i -го вида сырья ф-ла 1.:

$$T_i = \frac{Z_i}{D_i}$$

1.

где T_i - срок обеспеченности добычи, лет; Z_i - разведанные запасы, тыс. т или т; D_i - среднегодовая добыча, тыс. т/год или т/год. Этот показатель позволяет оценить горизонт устойчивого функционирования горнодобывающей отрасли по каждому ресурсу.

Коэффициент вовлечения запасов в разработку ф-ла. 2:

$$K_i^{\text{вовл}} = \frac{D_i}{Z_i}$$

2.

где $K_i^{\text{вовл}}$ - доля запасов, ежегодно извлекаемая из недр (1/год); чем выше значение, тем интенсивнее используется минеральная база.

Коэффициент реализации прогнозного потенциала:

$$K_i^{\text{реал}} = \frac{Z_i}{P_i}$$

3.

где P_i - прогнозные ресурсы соответствующего вида сырья; $K_i^{\text{реал}}$ показывает, какая часть прогнозных ресурсов трансформирована в разведанные запасы.

Потенциальный прирост добычи при вовлечении части прогнозных ресурсов:

$$\Delta D_i = \frac{\alpha P_i}{T_i^*}$$

4.

где α - доля прогнозных ресурсов, планируемая к переводу в запасы в среднесрочной перспективе; T_i^* - целевой срок отработки привлечённого объёма ресурсов, лет. Формула позволяет оценить возможное увеличение добычи при ускорении геологоразведочных работ [6-7].

Для упрощённой интегральной оценки минерально-сырьевого потенциала региона предлагается использовать суммарный потенциал по основным видам сырья ф-ла. 5:

$$M = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \frac{Z_i + P_i}{N_i}$$

5.

где M - интегральный потенциал; w_i - весовые коэффициенты, отражающие экономическую значимость вида сырья; N_i - нормирующие коэффициенты (например, средние по ДФО или РФ значения резервов по виду сырья). Такой подход позволяет сопоставить вклад золота, серебра, углей и других ресурсов в общий потенциал области.

Результаты

Структура минерально-сырьевой базы

Магаданская область располагает одной из наиболее богатых в России минерально-сырьевых баз благородных металлов: разведанные запасы рудного золота оцениваются порядка 1,9 тыс. т, россыпного золота - около 200 т, серебра - 10,9–12,5 тыс. т. В регионе выявлено более 1 200 месторождений золота, из них около 40–42 коренных, при общих запасах золота порядка 2,4–2,45 тыс. т и прогнозных ресурсах 4,3–4,32 тыс. т. Значимыми являются запасы олова (около 70 тыс. т), каменного угля (порядка 570 млн т) и бурого угля (до 1,6 млрд т), а также сырья для цементной промышленности и других неметаллических полезных ископаемых.

По данным региональных органов власти и отраслевых обзоров, прогнозные ресурсы золота превышают разведанные запасы в 1,7–2 раза, что указывает на существенный резерв для дальнейшего наращивания минерально-сырьевой базы при усилении геологоразведочных работ. Кроме благородных металлов, в пределах области и прилегающего шельфа Охотского моря оценены прогнозные ресурсы углеводородного сырья на уровне до 5 млрд т условного топлива, что формирует дополнительные стратегические возможности диверсификации минерально-сырьевого комплекса [8-9].

Текущий уровень освоения и обеспеченность запасами

По итогам 2024 года на территории Магаданской области добыто 54,1 т золота и 423,2 т серебра, при этом сохраняется тенденция роста рудной составляющей в структуре золотодобычи. В 2025 году объём добычи золота превысил 55 т, что связано с активным освоением крупных рудных месторождений Тенькинского района (Наталкинское, Павлик) и стабильной россыпной добычей. Анализ динамики показывает, что область прочно закрепилась в числе трёх ведущих золотодобывающих регионов России.

Для иллюстрации расчёта показателей обеспеченности рассмотрим упрощённые данные по золоту (условные, но согласованные с диапазоном официальных оценок) см. табл.1.

Таблица 1

Показатель	Обозначение	Значение
Разведанные запасы золота, тыс. т	Z_{Au}	2,0
Прогнозные ресурсы золота, тыс. т	P_{Au}	4,3
Среднегодовая добыча, т/год	D_{Au}	55

Переведём добычу в тыс. т/год: $D_{Au} = 0,055$ тыс. т/год. Тогда:

Срок обеспеченности добычи:

$$T_{Au} = \frac{Z_{Au}}{D_{Au}} = \frac{2,0}{0,055} \approx 36,4 \text{ лет}$$

Коэффициент реализации прогнозного потенциала:

$$K_{Au}^{\text{реал}} = \frac{Z_{Au}}{P_{Au}} = \frac{2,0}{4,3} \approx 0,47$$

Таким образом, при текущем уровне добычи обеспеченность региона разведанными запасами золота составляет порядка 35–40 лет, тогда как менее половины прогнозного потенциала трансформировано в разведанные запасы. Аналогичные расчёты для серебра и угля показывают, что срок обеспеченности этими ресурсами существенно превышает горизонты стратегического планирования, что создаёт предпосылки для устойчивого развития горнодобывающего комплекса [1-2].

Таблица 2

Сводная таблица по ключевым видам сырья (упрощённый вид)

Вид сырья	Разведанные запасы (условно)	Прогнозные ресурсы (условно)	Среднегодовая добыча (ориентир)	Характеристика потенциала
Золото	≈ 2,0–2,45 тыс. т	≈ 4,3–5,0 тыс. т	≈ 50–55 т/год	Высокий, недоиспользованный прогнозный потенциал
Серебро	≈ 10,9–12,5 тыс. т	≈ 75 тыс. т	> 400 т/год	Лидерские позиции по добыче в РФ, крупные ресурсы
Каменный уголь	≈ 570 млн т	Высокие прогнозные ресурсы	Ограниченные объёмы добычи (по потребности)	Резервы для развития энергетики и экспорта
Бурый уголь	≈ 1,6 млрд т	Значительные ресурсы	Локальное использование	Перспективы комплексной переработки и ХКО
Неметаллическое сырьё	Сырьё для цемента, неруды, пепел	Прогнозные ресурсы значительны	Использование ограничено локальным спросом	Резерв для диверсификации экономики

Обсуждение

Результаты анализа показывают, что минерально-сырьевой потенциал Магаданской области существенно превосходит текущий уровень его вовлечения в

разработку, особенно по благородным металлам и неметаллическим полезным ископаемым. Низкое значение коэффициента реализации прогнозного потенциала $K_{Au}^{реал}$ свидетельствует о необходимости масштабного расширения геологоразведочных работ и ускорения перевода прогнозных ресурсов в категорию разведанных запасов.

Основные направления вовлечения потенциала в разработку

Углубление и расширение золотодобычи.

Освоение и доразведка крупных рудных месторождений (Наталкинское, Павлик и др.), повышение степени комплексного использования сырья (извлечение сопутствующих компонентов).

Модернизация россыпной добычи, внедрение технологий доизвлечения золота из техногенных месторождений и хвостов обогащения.

Повышение производительности действующих предприятий за счёт энергоэффективного оборудования и цифровизации горных работ.

Развитие серебродобычи и комплексных месторождений.

Дальнейшее освоение золото-серебряных месторождений (Дукатский рудный район, другие узлы), обеспечивающих основной объём добычи серебра [1-2, 4-5].

Переработка руд с извлечением попутного серебра и редких металлов, что увеличивает экономическую отдачу от каждого участка недр.

Освоение угольных и углеводородных ресурсов.

Вовлечение в разработку бурых и каменных углей (Ланковское, Мелководнинское месторождения) на основе современных технологий комплексной переработки (энергетика, химическое сырьё).

Поэтапное изучение и освоение прогнозных ресурсов углеводородов в шельфовой зоне Охотского моря при условии соблюдения экологических требований.[7-9]

Активизация использования неметаллических полезных ископаемых.

Развитие добычи сырья для цементной промышленности, инертных материалов, облицовочного камня и других ОПИ, особенно в районах с развитой инфраструктурой (Хасынский, Ягоднинский, Ольский районы и МО «Город Магадан»).

Создание перерабатывающих мощностей для локальной переработки нерудного сырья, что позволит диверсифицировать экономику и снизить зависимость от цен на благородные металлы.

Институциональные и инфраструктурные меры.

Проведение аукционов на участки недр с высоким ресурсным потенциалом, привлечение инвестиций через механизмы государственно-частного партнёрства и развитие инфраструктуры (транспорт, энергетика).

Совершенствование региональной нормативно-правовой базы в части предоставления налоговых льгот и мер поддержки недропользователей, реализующих проекты на новых или труднодоступных месторождениях.

Применение предложенной системы показателей (обеспеченность запасами, коэффициенты вовлечения и реализации потенциала) позволяет выявить узкие места в структуре недропользования и обосновать приоритеты геологоразведки и инвестиций. Например, по золоту целесообразно целевое повышение $K_{Au}^{реал}$ до 0,6–0,7, что потребует ускоренной разведки перспективных участков и инвестиций в геологоразведочные работы.

Заключение

Магаданская область обладает уникальным минерально-сырьевым потенциалом, основанным на крупных запасах золота, серебра, углей, а также значительных ресурсах неметаллического и потенциально углеводородного сырья. При этом выявлено существенное расхождение между объёмом прогнозных ресурсов и разведанных запасов, особенно по благородным металлам, что свидетельствует о наличии широких возможностей для расширения сырьевой базы и дальнейшего роста добычи.

Реализация этого потенциала требует: интенсификации геологоразведочных работ; углублённого освоения действующих золотодобывающих и серебродобывающих месторождений; поэтапного вовлечения угольных и неметаллических ресурсов; развития переработки и инфраструктуры; совершенствования институтов государственного регулирования и стимулирования инвестиций в недропользование. Комплексное применение предложенных расчётных показателей обеспеченности и вовлечения ресурсов позволит сформировать обоснованную стратегию устойчивого использования минерально-сырьевого потенциала Магаданской области.

References

1. Гальцева Н.В., Шарыпова О.А. Минерально-сырьевой комплекс Магаданской области: состояние и перспективы развития // Горный журнал. - 2016. - № 3. - С. 124–149.
2. Карпенко Н.Б. Минерально-сырьевой комплекс как основа социально-экономического развития Магаданской области // Глобус - геология и бизнес. - 2016. - № 2. - С. 6–14.
3. Давыдова А.А. Анализ современного состояния минерально-сырьевой базы общераспространённых полезных ископаемых Магаданской области // Проблемы современной экономики. - Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН.

4. Гальцева Н.В. Предпосылки и перспективы реструктуризации экономики Магаданской области / Отв. ред. Н.А. Горячев. - М.: КомКнига, 2009. - 320 с.
5. Гончаров В.И., Прусс Ю.В., Глотов В.Е. Перспективы комплексного использования нерудных полезных ископаемых Магаданской области // Колыма. - 2001. - № 1. - С. 34–40.
6. Дудов Н.Н., Глотов В.Е., Горячев Н.А. Оценка ресурсной базы устойчивого развития Северо-Востока России в XXI в. // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. - 2008. - № 3. - С. 2–14.
7. Кашуба С.Г. Золотодобывающая отрасль России: состояние и перспективы // Минеральные ресурсы России: Экономика и управление. - 2021. - № 5. - С. 48–52.
8. Митькин В.И. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевого комплекса Магаданской области // Золото и технологии. - 2016. - № 2 (32). - С. 12–18.
9. Арно В.В., Колесниченко Е.П., Миккельсен Е.А. Сравнительный анализ добычи драгоценных металлов в муниципальных округах Магаданской области в 2022-2024 годах // Московский экономический журнал. - 2025. - №4. - С. 367-385 doi:10.55186/2413046X_2025_10_4_116. EDN: MIDKWR
10. Арно В.В., Колесниченко Е.П., Гарифулина ИЮ., Долбин И.Д. Аудит формирования Северо-Восточного золотодобывающего кластера: потенциал и барьеры развития.// Международный научный журнал International Journal of Professional Science (IJPS). 2025 № 12 (2) С.153-163

INDUSTRIAL RESEARCH AND PRODUCTION

UDC 628.517

**Gadaev D.S., Belova Y.A., Belov P.S., Grintsova E.A.,
Grigorieva S.Y., Chorjeva A.A. Dust hazards in powder coating
production: causes, consequences, and methods for controlling
and reducing risks**

Пылевые угрозы в производстве порошковой краски: причины, последствия, методы
контроля и снижения рисков

Gadaev Deni Saidovich

Student at the ETI FSBEI HE MSTU "STANKIN"

Belova Yulia Andreevna

Student at the ETI FSBEI HE MSTU "STANKIN"

Belov Pavel Sergeevich

Associate Professor, Department of Technology, Equipment, and Automation of Mechanical
Engineering Production
ETI FSBEI HE MSTU "STANKIN"

Grintsova Evgenia Andreevna

Student at the ETI FSBEI HE MSTU "STANKIN"

Grigorieva Svetlana Yuryevna

Student at the ETI FSBEI HE MSTU "STANKIN"

Chorjeva Anastasia Aleksandrovna

Senior Lecturer, Department "Automated Production Technologies"
ETI FGAOU VO MSTU "STANKIN"

Гадаев Дени Саидович
Обучающийся ЕТИ ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»

Белова Юлия Андреевна
Обучающаяся ЕТИ ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»

Белов Павел Сергеевич
Доцент кафедры «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных
производств»

ЕТИ ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»
Гринцова Евгения Андреевна
Обучающаяся ЕТИ ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»

Григорьева Светлана Юрьевна
Обучающийся ЕТИ ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»

Чорьева Анастасия Александровна
Старший преподаватель кафедры «Технологий автоматизированного производства» ЕТИ
ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»

Abstract. Based on a review of the literature and typical technological processes, the key causes of dust formation, the ways of dust clouds propagation, the potential consequences for the health of the personnel and the production line, as well as effective engineering and management solutions, including localization, dust removal, real-time monitoring, personnel training programs and prevention.

Keywords: powder paints, dust formation, negative factors, control methods.

Аннотация. На основе обзора литературы и типичных технологических процессов выделены ключевые причины пылеобразования, пути распространения пылевых облаков, потенциальные последствия для здоровья персонала и производственной линии, а также эффективные инженерные и управленческие решения, включая локализацию, удаление пыли, мониторинг в режиме реального времени, программы обучения персонала и профилактики.

Ключевые слова: порошковые краски, пылеобразование, негативные факторы, методы контроля.

Рецензент: Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Порошковые краски – это тип покрытия, которое наносится в виде рассыпчатого сухого порошка. Нанесение производится в основном электростатическим методом, а отверждение под воздействием тепла или ультрафиолетового излучения.

Состав порошковых красок основан на системах полимерных смол в сочетании с отвердителями, пигментами, выравнивающими добавками, модификаторами текучести и прочими добавками.

Технология производства порошковых материалов состоит из пяти основных операций:

- дозирование гранулированных пленкообразующих смол, порошкообразных наполнителей и пигментов в порошковую композицию;
- смешение дозированной смеси в миксерах роторного типа;
- гомогенизация в двухшнековых экструдерах с выдавливанием и нарезкой «чипсов». Температура расплава варьируется от 90 до 120°C;
- измельчение чипсов, полученных в экструдере, на специальных мельницах;
- фасовка и упаковка порошковых красок.

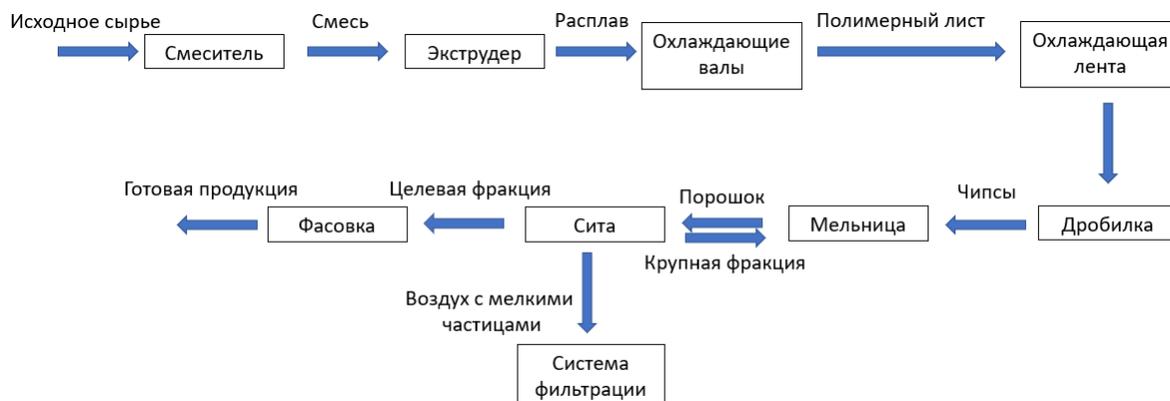


Рисунок 1 Схема производства порошковых красок.

Пыль в промышленных условиях представляет собой взвесь твердых частиц размером от нескольких десятков до долей микрометра, которые медленно оседают в воздухе.

Причины пылеобразования при производстве порошковой краски можно разделить на три вида: физико-механические, технологические и эксплуатационные.

1. Физические и механические причины:

- Износ и разрушение компонентов порошковой смеси - частицы краски и связующего под воздействием ударов, температуры, трения и скребкового сдвига могут распадаться на мелкие фракции. (этому способствует интенсивные режимы работы оборудования.)

- Влажность и агломерация - поглощение влаги может изменить прочность связей между частицами, способствуя образованию мелких частиц во время обработки и сушки.

2. Технологические причины:

- Эффект перегрева и термодинамические процессы - при сушке, извлечении влаги и переработке частиц могут происходить процессы частичного плавления и кристаллизации, способствующие образованию мелких частиц.

- Смешивание и переработка отходов - переработка вторичных материалов может увеличить общее количество пыли из-за более высокой доли мелких частиц.

3. Эксплуатационные и организационные причины:

- Неэффективность систем пылеулавливания - недостаточная эффективность фильтров, утечка порошка в местах соединения трубопроводов, пневмопроводов и смесительных камер могут привести к образованию зон запыления за пределами рабочего пространства.

- Интенсивные рабочие смены и динамические режимы - внезапные пуски и остановки оборудования, могут привести к образованию свободной пыли.

- Режимы уборки и технического обслуживания - открытые пылесборники, не полностью герметизированные зоны технического обслуживания, сухая уборка и неполная очистка оборудования приводят к вторичному образованию пыли и ее перераспределению по производственным помещениям.

Образовавшаяся при производстве порошковых красок пыль оказывает негативные последствия на здоровье персонала, повреждает оборудование и ухудшает качество производимой продукции. Рассмотрим более подробно каждый из перечисленных негативных факторов.

1. Опасность для здоровья сотрудников:

- Повышенная нагрузка на дыхательную систему из-за вдыхания мельчайших частиц - возможное раздражение аэрозолем, хронические респираторные расстройства и реакции повышенной чувствительности.

- Длительное воздействие тяжелых металлов, редкоземельных элементов или органических растворителей, входящих в состав порошковой краски, может привести к физиологическим нарушениям и снижению общего уровня иммунитета.

- Психофизические эффекты связаны с непрерывной работой в условиях повышенной пылевой активности, что приводит к переутомлению, снижению концентрации внимания и частым ошибкам при выполнении технологических операций.

2. Повреждение оборудования и технологического процесса:

- Засорение фильтров, трубопроводов и форсунок приводит к снижению эффективности пылеулавливания, увеличению энергопотребления и преждевременному износу транспортных узлов.

- Взрывобезопасность - порошковые смеси обладают минимальной искроопасностью и высокой степенью воспламенения (запыленные участки могут стать источниками пожара или взрыва при наличии источника воспламенения).

3. Влияние на качество продукции

- Снижение качества краски из-за попадания посторонних фаз в состав краски, что приводит к отклонению параметров полимеризации и растрескиванию покрытия.

Для снижения негативных факторов пылевого воздействия на предприятии по производству порошковых красок ООО «Роял Групп» применяются следующие методы контроля:

Инженерные меры:

- Предотвращение образования пыли - сведение к минимуму источников пыли на этапах приготовления, розлива и транспортировки; при необходимости использование пылеулавливающих и влагосодержащих добавок.

- Эффективное удаление и фильтрация пыли - герметизирующие компоненты; использование локальных вытяжных систем с высокой степенью улавливания и фильтрами с низким сопротивлением; а также автоматические самоочищающиеся фильтры.

- Управление динамикой аэрозоля - распределение зон с высокой пылеактивностью, защита источников пыли и поддержание отрицательного давления во взрывоопасных зонах.

- Безопасность и взрывозащита - разделение зон в соответствии с их классами пожаро- и взрывоопасности, предотвращение образования пылевых облаков в зонах, подверженных искрообразованию, и установка систем пылеподавления в случае обнаружения аномалий.
- Обучения персонала - регламентированные инструкции по работе с пылью, чистке и техническому обслуживанию систем пылеулавливания, обучение по предотвращению взрывов.
- Процедуры очистки и технического обслуживания - регламентированный график уборки, использование соответствующих средств индивидуальной защиты, контроль состояния рабочих поверхностей.
- Контроль доступа и управление материальными потоками - ограничение передвижения по зонам с высоким уровнем запыленности, хранение компонентов в закрытых контейнерах и контроль расхода материалов.
- Мониторинг концентрации пыли - регулярное измерение концентрации аэрозолей в рабочих зонах, определение пороговых значений тревоги и реагирование на превышение этих пороговых значений.
- Карты зон риска - моделирование распределения пыли по всему объекту, выявление узких мест и определение местоположения точек сбора пыли.

Введение данных методов контроля на предприятии осуществлялось поэтапно. Основными этапами на пути к безопасному производству стали:

1. Аудит существующих систем сбора, транспортировки и хранения пыли.
2. Разработка плана действий по модернизации компонентов и процессов.
3. Внедрение датчиков запыленности и систем контроля, установка пороговых значений и автоматическое отключение.
4. Обучение персонала и внедрение правил очистки и технического обслуживания.
5. Периодический аудит эффективности мер и корректировка параметров.

Запыленность при производстве порошковых красок требует комплексного подхода, сочетающего инженерные решения, организационные мероприятия и мониторинг. Эффективная система пылеулавливания снижает риски для здоровья сотрудников, поддерживает работоспособность оборудования и обеспечивает стабильность выпускаемой продукции.

References

1. Мюллер Б., Пот У. Лакокрасочные материалы и покрытия. Принципы оставления рецептур. М.: Пэйнт-Медиа, 2007. 237 с

2. Квасников М. Ю. Технология лакокрасочных покрытий: учеб. пособие – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2021 - 400 с.
3. Яковлев А. Д., Яковлев С. А. Лакокрасочные покрытия функционального назначения. СПб.: ХИМИЗДАТ, 2016. 272 с.
4. Орлова О. В., Фомичева Т. Н. Технология лаков и красок. – М.: Химия, 1990. – 384 с.
5. Драгина, О. Г. Технология конструкционных материалов : учебник / О. Г. Драгина, П. С. Белов. – Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2026. – 340 с. – ISBN 978-5-4497-4969-7. – EDN RDEZAP.
6. Технологическое обеспечение качества / В. А. Макаров, О. Г. Драгина, М. И. Седых, П. С. Белов. – Москва; Берлин : ДиректМедиа, 2015. – 101 с. – ISBN 978-5-4475-4080-7. – EDN UDINFF.
7. Опасные и вредные производственные факторы / Д. Ю. Артамонова, П. С. Белов, С. Л. Махов, Д. С. Воробьева // Развитие науки и образования: актуальные тенденции и инновации : сборник докладов региональной научно-практической конференции, Егорьевск, 18 апреля 2024 года. – Егорьевск: Общество с ограниченной ответственностью "Научный консультант", 2024. – С. 673-676. – EDN OEXWSY.
8. Проблемы взаимодействия человека, общества и природы: концепция устойчивого развития и ее реализация в России / П. С. Белов, А. А. Бровченко, О. А. Бровченко [и др.]. – Нижний Новгород : Профессиональная наука, 2021. – 107 с. – ISBN 978-1-312-75403-4. – EDN OZMIXI.
9. Современные исследования в области технических и физико-математических наук / Т. В. Аветисян, А. А. Бровченко, О. А. Бровченко [и др.]. – Нижний Новгород : Профессиональная наука, 2023. – 47 с. – ISBN 978-5-907607-22-4. – DOI 10.54092/ 978-5-907607-22-4. – EDN VMVMWT.
10. Классификация видов аддитивного производства / А. А. Бровченко, О. А. Бровченко, П. С. Белов, Л. Э. Шварцбург // Вестник МГТУ "Станкин". – 2022. – № 4(63). – С. 37-41. – EDN AEOSBJ.

PHYSICAL SCIENCES

UDC 553

Nguyen Van Lam, Bui Van Hieu, Nguyen Van Quang, Hoang Danh Khanh. Investigation of heat flux at the critical point of a surface under hypersonic flow

Исследование теплового потока в критической точке поверхности при гиперзвуковом обтекании

Nguyen Van Lam,

Ph.D. of Physics and Mathematics Sciences, Lecturer, Air Force Officer' College

Bui Van Hieu,

Lecturer, Air Force Officer' College

Nguyen Van Quang,

Lecturer, Air Force Officer' College

Hoang Danh Khanh,

Lecturer, Air Force Officer' College

Нгуен Ван Лам,

канд.ф.м. наук, преподаватель, Офицерское училище Военно-Воздушных Сил

Буй Ван Хьеу,

преподаватель, Офицерское училище Военно-Воздушных Сил

Нгуен Ван Куанг,

преподаватель, Офицерское училище Военно-Воздушных Сил

Хоанг Зянь Кхань,

преподаватель, Офицерское училище Военно-Воздушных Сил

Abstract. One of the key problems in applied aerothermodynamics at high supersonic and hypersonic speeds is the investigation of heat transfer in the region of the critical point of a streamlined body. In this region, the heat-flux density reaches its maximum values, thereby largely determining the requirements for thermal protection of flight vehicles. Depending on the degree of gas rarefaction, various methods are used to calculate heat fluxes, including direct statistical simulation of the Boltzmann kinetic equation (the Monte Carlo method) [1]. In the continuum regime, numerical calculations based on the thin viscous shock-layer model are most widely employed [2]. It should be noted that such numerical methods are characterized by high computational complexity; therefore, various approximate analytical correlations are widely used for engineering estimates of heat fluxes.

The scientific novelty of this work lies in refining the expressions for the heat flux at the critical point under hypersonic flow conditions, identifying inaccuracies in certain previously published approximations, and applying a self similar interpolation method to reconcile the continuum and free-molecular heat transfer regimes.

In this paper, we investigate the heat flux at the critical point of a body exposed to a hypersonic gas flow. The analysis is conducted for both continuum and free-molecular heat-transfer regimes. Based on known asymptotic relations, expressions for the heat-transfer coefficient in the limiting regimes are derived. To reconcile these regimes, the first-order self-similar interpolation method is employed. Approximate formulas are compared, the effects of the Reynolds number and the temperature factor on the heat-flux are examined, and the applicability ranges of established analytical correlations are refined.

Keywords: Heat flux, critical point, self-similar interpolation, heat transfer coefficient, hypersonic flow.

Аннотация. Одной из ключевых задач прикладной аэротермодинамики при больших сверхзвуковых и гиперзвуковых скоростях является исследование теплообмена в области критической точки обтекаемого тела. Именно в этой зоне реализуются максимальные значения плотности теплового потока, что в значительной

степени определяет требования к тепловой защите летательных аппаратов.

В зависимости от степени разреженности газа для расчета тепловых потоков применяются различные методы, включая прямое статистическое моделирование решения кинетического уравнения Больцмана (метод Монте Карло) [1]. В режиме сплошной среды наибольшее распространение получили численные расчеты в рамках модели тонкого вязкого ударного слоя [2]. Следует отметить, что такие численные методы отличаются высокой вычислительной сложностью, поэтому для инженерных оценок тепловых потоков широко применяются различные приближенные аналитические зависимости.

Научная новизна работы заключается в уточнении выражений для теплового потока в критической точке при гиперзвуковом обтекании, выявлении некорректности отдельных ранее опубликованных приближений, а также в применении метода самоподобной интерполяции для согласования континуального и свободномолекулярного режимов теплообмена.

В данной работе исследуется тепловой поток в критической точке тела, обтекаемого гиперзвуковым потоком газа. Анализ проводится для континуального и свободномолекулярного режимов теплообмена. На основе известных асимптотических зависимостей получены выражения для коэффициента теплопередачи в предельных режимах. Для согласования

указанных режимов применяется метод самоподобной интерполяции первого порядка. Проведено сравнение приближенных формул, показано влияние числа Рейнольдса и температурного фактора на величину теплового потока, а также уточнены области применимости известных аналитических зависимостей.

Ключевые слова: Тепловой поток, критическая точка, самоподобная интерполяция, коэффициент теплопередачи, гиперзвуковое обтекание.

Рецензент: Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

1. Зависимость числа St от коэффициента теплопередачи Ch

Теплообмен в критической точке, как правило, характеризуется через число Стантона St и коэффициент теплопередачи Ch . Для больших скоростей и малых температурных факторов соответствующие зависимости могут быть получены в рамках приближенных моделей, основанных на кинетической теории газа и асимптотических оценках теплообмена. Однако область применимости таких выражений ограничена, что требует их уточнения и согласования с другими режимами течения.

Из работы [3], можно записать:

$$St = \frac{q}{\rho_{\infty} U_{\infty} C_p T_0 (1 - t_w)} \quad (1.1)$$

Где, ρ_{∞} , U_{∞} - плотность и скорость набегающего потока, q - тепловой поток, $t_w = T_w / T_0$ - температурный фактор, C_p - молярная теплоёмкость при постоянном давлении.

Отношение молярных теплоёмкостей при постоянном давлении и постоянном объёме определяется как:

$$\begin{cases} \frac{Cp}{Cv} = \gamma \\ Cp - Cv = \frac{k}{m} \end{cases} \quad (1.2)$$

Где k - постоянная Больцмана, m - масса молекулы

$$Cp = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{k}{m} \quad (1.3)$$

Решение этой системы (1.2), получаем

Подставляем (1.3) в формулу (1.1), получаем

$$St = \frac{q}{\rho_{\infty} U_{\infty} \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{k}{m} T_0 (1 - t_w)}$$

Где температура торможения T_0 и параметр S определяются выражениями

$$T_0 = T_{\infty} \left(1 + \frac{\gamma - 1}{\gamma} S^2 \right) \approx T_{\infty} \frac{\gamma - 1}{\gamma} S^2, \quad S^2 = \frac{m}{2kT_{\infty}} U_{\infty}^2$$

(в гиперзвуковом течении $S \gg 1$)

Окончательно

$$St = \frac{2q}{\rho_{\infty} U_{\infty}^3 (1 - t_w)}, \text{ но } \frac{2q}{\rho_{\infty} U_{\infty}^3} = Ch$$

Тогда получаем формулу зависимости числа Стантона от коэффициента

$$St = \frac{Ch}{1 - t_w}$$

теплопередачи

Эта формула (так же как и формула (1.1) справедлива лишь при малых температурных факторах t_w).

2. Коэффициент теплопередачи в свободномолекулярном случае

Из работы [3] (стр. 349) следует, что тепловой поток в свободномолекулярном режиме обтекания определяется выражением:

$$q_{см} = \frac{n_{\infty} k T_{\infty}}{2\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{2kT_{\infty}}{m}} \left\{ \left(S^2 + \frac{5}{2} - 2 \frac{T_w}{T_{\infty}} \right) \chi(S \sin \theta) - \frac{1}{2} e^{-S^2 \sin^2 \theta} \right\} = \quad (2.1)$$

$$= \frac{\rho_{\infty} U_{\infty}^3}{2} \frac{1}{2\sqrt{\pi} S^3} \left\{ \left(S^2 + \frac{5}{2} - 2 \frac{T_w}{T_{\infty}} \right) \chi(S \sin \theta) - \frac{1}{2} e^{-S^2 \sin^2 \theta} \right\}$$

Здесь, θ - угол между касательной к поверхности и вектором скорости набегающего потока газа, а также введена функция $\chi(x)$, описывающая вклад молекул газа взаимодействующих с поверхностью тела.

$$\chi(x) = e^{-x^2} + \sqrt{\pi} x (1 + \operatorname{erf} x)$$

Рассмотрим предельный случай больших чисел скоростного отношения $S \rightarrow \infty$, характерный для гиперзвукового обтекания. В этом случае, функция $\chi(S \sin \theta)$ может быть аппроксимирована через выражение:

$$\chi(S \sin \theta) \approx 2\sqrt{\pi} S \sin \theta$$

Подставляя полученное приближение в выражение (2.1), получаем:

$$q_{см} = n_{\infty} k T_{\infty} \sqrt{\frac{2kT_{\infty}}{m}} S^3 \left(1 - 2t_w \frac{\gamma-1}{\gamma} \right) \sin \theta \quad (2.2)$$

При этом используется соотношение

$$n_{\infty} k T_{\infty} \sqrt{\frac{2kT_{\infty}}{m}} S^3 = \frac{2\rho_{\infty} k T_{\infty}}{2m} S^3 = \frac{\rho_{\infty} U_{\infty}^3}{2}$$

Таким образом, в свободномолекулярном случае, тепловой поток пропорционален $\sin \theta$ и определяется величинами набегающего потока и температурного фактора.

$$q_{см} = \frac{\rho_{\infty} U_{\infty}^3}{2} \left(1 - 2t_w \frac{\gamma-1}{\gamma} \right) \sin \theta$$

Введём безразмерный коэффициент теплопередачи

$$Ch = \left(1 - 2t_w \frac{\gamma - 1}{\gamma}\right) \sin \theta \quad (2.3)$$

В критической точке $\theta = \pi / 2$ и $\sin \theta = 1$

Окончательно, получаем выражения для коэффициентов теплопередачи и теплоотдачи:

$$Ch_{cm} = 1 - 2t_w \frac{\gamma - 1}{\gamma}, \quad St_{cm} = \frac{1 - 2t_w (\gamma - 1) / \gamma}{1 - t_w} \quad (2.4)$$

Отметим, что в работе [4] содержится ошибка, которая идет из работы [5]

Теперь рассмотрим случай $\theta = 0$. В этом случае, тепловой поток в свободномолекулярном режиме определяется выражением:

$$q_{cm} = \frac{n_{\infty} k T_{\infty}}{2\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{2kT_{\infty}}{m}} \left(S^2 + \frac{5}{2} - 2 \frac{T_w}{T_{\infty}} \right)$$

Соответствующий коэффициент теплопередачи имеет вид

$$Ch_{cm} = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \frac{1}{S^3} \left(S^2 + \frac{5}{2} - 2 \frac{T_w}{T_{\infty}} \right)$$

При предельном случае больших чисел скоростного отношения $S \rightarrow \infty$ имеем асимптотическое выражение

$$Ch_{cm} = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \frac{1}{S} \left(1 - 2t_w \frac{\gamma - 1}{\gamma} \right)$$

3. Самоподобная интерполяция

Оценка коэффициента теплопередачи в критической точке тела может быть выполнена на основе эмпирических зависимостей, предложенных в работе [4].

$$St = \left\{ \frac{\frac{St_{cm}^2 + (1 - St_{cm}^2) Re_0^{0.1}}{1 + a_0 Re_0^{0.9}} + a_*^2 (a_1 Re_0^{1.5} + a_2 Re_0^2)}{1 + a_2 Re_0^3} \right\}^{1/2} \quad (3.1)$$

Здесь St_{cm} - число Стантона в свободномолекулярном режиме, параметры корреляции определены в соответствии с работой [4] и имеют следующие значения: $a_0 = 0.3$, $a_1 = (2 - t_w) \times 10^{-5}$, $a_2 = 0.5(1 - t_w) \times 10^{-5}$, $a_* = 2$

В предельных случаях изменения числа Рейнольдса реализуются режимы, соответствующие либо свободномолекулярному, либо континуальному течению.

При $Re_0 \rightarrow 0$, $St \rightarrow St_{cm}$, при $Re_0 \rightarrow \infty$, $St \rightarrow a_* / \sqrt{Re_0}$

Таким образом, итоговое выражение для числа Стантона может быть представлено в виде асимптотической зависимости.

$$St = \begin{cases} St_{cm} \\ a_* Re_0^{-1/2} \end{cases} \quad (3.2)$$

На основе самоподобной интерполяции первого порядка, предложенной в работе [6], для числа Стантона получаем выражение

$$St = St_{cm} \left(1 + \frac{St_{cm}^2}{a_*^2} Re_0 \right)^{-1/2} \quad (3.3)$$

Или для коэффициента теплопередачи имеем

$$Ch = Ch_{cm} \left(1 + \frac{Ch_{cm}^2}{a_*^2 (1 - t_w)^2} Re_0 \right)^{-1/2} \quad (3.4)$$

На Рис.1 и Рис.2 представлены зависимости коэффициента теплопередачи в критической точке, рассчитанные по формулам (3.1), (3.4) от числа Рейнольдса при различных значениях температурного фактора.

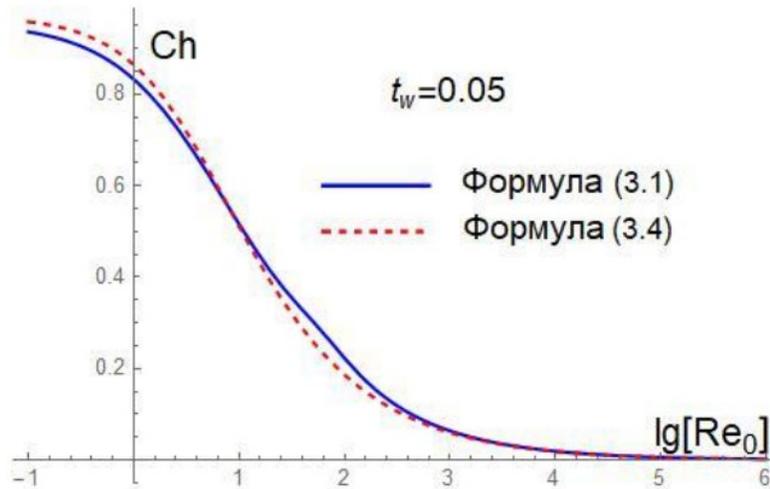


Рис.1 Коэффициент теплопередачи в критической точке в зависимости от числа Рейнольдса $Re_0, t_w = 0.05$

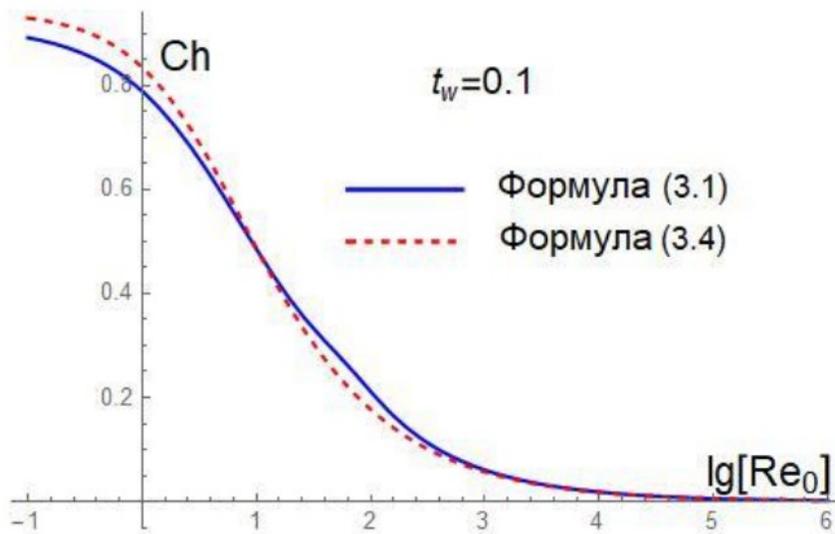


Рис.2 Коэффициент теплопередачи в критической точке в зависимости от числа Рейнольдса $Re_0, t_w = 0.1$

Сопоставление результатов, полученных с использованием различных приближённых соотношений, показывает, что наибольшее расхождение между ними наблюдается при $Lg(Re_0) \approx 2$ и может достигать приблизительно 10%. С увеличением числа Рейнольдса различие между расчётными значениями уменьшается и, как правило, не превышает 1% при $Lg(Re_0) > 4$.

Заключение

В работе рассмотрены особенности теплообмена в критической точке при гиперзвуковом обтекании тела. Проанализированы континуальный и свободномолекулярный режимы теплообмена и показаны ограничения их применимости. На основе метода самоподобной интерполяции получены уточненные выражения для коэффициента теплопередачи, обеспечивающие корректный переход между предельными режимами.

Анализ результатов, полученных на основе различных приближённых зависимостей, свидетельствует о том, что максимальные расхождения имеют место при $Lg(Re_0) \approx 2$ и достигают приблизительно 10%. С увеличением числа Рейнольдса различие между расчёнными значениями уменьшается и, как правило, не превышает 1% при $Lg(Re_0) > 4$. Полученные результаты могут быть использованы в практических расчетах тепловых потоков при гиперзвуковых скоростях.

References

1. Горелов С. Л., Русаков С. В. Физико-химическая модель гиперзвукового обтекания тел разреженным газом // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2002. № 3. С. 131–144.
2. Теплообмен в окрестности пространственной критической точки неравновесного вязкого ударного слоя при произвольной каталитической активности поверхности / Ботин А. В., Провоторов В. П., Рябов В. В., Степанов Э. А. // Труды ЦАГИ. 1999. Вып. 2514. С. 13–22.
3. Коган М.Н. Динамика разреженного газ. М: Наука, 1967, 440 с.
4. Провоторов В.П., Степанов Э.А. Приближенные зависимости для расчета теплообмена на теле, обтекаемом гиперзвуковым потоком газа // Ученые записки ЦАГИ, 1992, Т. XXIII, № 2, С. 25-29.
5. Хейз У.Д., Пробстин Р.Ф. Теория гиперзвуковых течений. М: ИЛ, 1962, 607 с.
6. Горелов С.Л. Применение метода самоподобной интерполяции к задачам динамики разреженного газа// ПММ, 2005. т. 69, Вып. 3, С. 438-444.

REVIEWS AND ANALYSIS

UDC 338.5:622.012.3:658.155

Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifullina I.Yu., Guzenko A.D. Analysis of the impact of global metal and coal price volatility on the financial stability of mining companies

Анализ влияния волатильности мировых цен на металлы и уголь на финансовую
устойчивость горнодобывающих компаний.

Arno Veronika Vladimirovna

Ph.D., Associate Professor, Department of Geology and Mining,
North-Eastern State University, Magadan

Kolesnichenko Eva Pavlovna

Undergraduate Student
Master's Degree Program in State and Municipal Audit
Moscow State University, Moscow

Garifulina Irina Yurievna,

Ph.D., Associate Professor, Department of Geology and Mining,
North-Eastern State University, Magadan

Guzenko Aleksey Dmitrievich,

Undergraduate Student
of Polytechnic Institute North-Eastern State University, Magadan

Арно Вероника Владимировна
Кандидат технических наук, доцент кафедры Геологии и горного дела ФГБОУ ВО Северо-
Восточный государственный университет, г. Магадан

Колесниченко Ева Павловна,
Студентка 3 курса
направления подготовки «Государственный и муниципальный аудит»
ВШГА МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Гарифулина Ирина Юрьевна,
Кандидат технических наук, доцент кафедры Геологии и горного дела ФГБОУ ВО Северо-
Восточный государственный университет, г. Магадан

Гузенко Алексей Дмитриевич
Студент 3 курса
Политехнический институт
ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет»

Abstract. The article examines the impact of global metal and coal price volatility on the financial stability of mining companies. It is shown that price fluctuations directly affect companies' revenues, profitability and leverage, increasing the risk of financial imbalance. The research methodology is based on assessing price volatility using logarithmic returns and standard deviation, as well as analyzing financial ratios such as liquidity, leverage, profitability and interest coverage. The paper presents case studies of MMC Norilsk Nickel and UC RUSAL, which demonstrate different resilience to adverse price shocks under high volatility of nickel and aluminum prices. The results indicate that companies with high leverage and negative free cash flow are more vulnerable to price volatility, whereas the use of hedging instruments, business diversification and disciplined capital spending can mitigate its adverse effects on financial stability.

Keywords: price volatility; metals; coal; mining companies; financial stability; leverage; profitability; hedging; diversification.

Аннотация. В статье рассматривается влияние волатильности мировых цен на металлы и уголь на финансовую устойчивость горнодобывающих компаний. Показано, что ценовые колебания оказывают прямое воздействие на выручку, рентабельность и долговую нагрузку компаний, усиливая риск нарушения финансового равновесия. Методика исследования основана на оценке волатильности цен с использованием логарифмической доходности и стандартного отклонения, а также на анализе финансовых коэффициентов (ликвидности, долгового рычага, рентабельности, покрытия процентов). В качестве примеров рассмотрены ПАО «ГМК «Норильский никель» и ОК РУСАЛ, демонстрирующие различную устойчивость к негативным ценовым шокам при высокой изменчивости цен на никель и алюминий. Показано, что компании с высокой долговой нагрузкой и отрицательным свободным денежным потоком более чувствительны к ценовой волатильности, тогда как применение хеджирования, диверсификации и дисциплинированной инвестиционной политики позволяет смягчать её негативное влияние.

Ключевые слова: волатильность цен; металлы; уголь; горнодобывающие компании; финансовая устойчивость; долговая нагрузка; рентабельность; хеджирование; диверсификация.

Рецензент: Булгакова Ирина Николаевна - Доктор экономических наук, доцент. Доцент кафедры системного анализа и управления
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

Введение

Финансовая устойчивость горнодобывающих компаний во многом определяется динамикой мировых цен на металлы и уголь, которые отличаются выраженной цикличностью и высокой волатильностью. Резкие колебания цен приводят к существенным изменениям выручки, маржи и стоимости активов, что сказывается на способности компаний выполнять долговые обязательства и финансировать инвестиционные проекты. В условиях энергоперехода и ужесточения экологических требований ценовые риски усиливаются структурными сдвигами спроса, особенно в угольном сегменте.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью количественно оценить влияние волатильности мировых цен на металлы и уголь на ключевые показатели финансовой устойчивости и определить, какие инструменты управления рисками позволяют смягчить эффект ценовых шоков. Цель работы — проанализировать связь между изменчивостью цен на металлы и уголь и финансовой устойчивостью горнодобывающих компаний и выявить факторы, повышающие их устойчивость к ценовым колебаниям [1-3].

Материалы и методы

В качестве объекта исследования рассматриваются крупные и средние горнодобывающие компании, специализирующиеся на добыче металлов и угля. Для анализа используются данные по ценам на медь, алюминий, никель, золото, энергетический и коксующийся уголь, а также финансовые показатели компаний (коэффициенты ликвидности, рентабельности, долговой нагрузки).

В качестве конкретных кейсов рассматриваются ПАО «ГМК «Норильский никель» (ведущий производитель никеля и металлов платиновой группы) и ОК РУСАЛ (крупнейший производитель алюминия), чьи финансовые показатели существенно зависят от волатильности мировых цен на соответствующие металлы.

Волатильность цен на металлы и уголь предлагается оценивать на основе стандартного отклонения логарифмической доходности и коэффициента вариации. Логарифмическая доходность рассчитывается как

$$r_t = \ln \frac{P_t}{P_{t-1}} \quad (1)$$

где P_t и P_{t-1} — цены актива в моменты времени t и $t - 1$ соответственно.

Стандартное отклонение доходности за период T определяется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (r_t - \bar{r})^2} \quad (2)$$

где \bar{r} — среднее значение доходности за период.

Финансовая устойчивость компаний оценивается с помощью набора коэффициентов:

коэффициент текущей ликвидности;

коэффициент финансового рычага (чистый долг/ЕБИТДА);

рентабельность по ЕБИТДА;

коэффициенты покрытия процентов и устойчивости денежного потока.

Для анализа влияния волатильности цен на финансовые показатели используется корреляционный и регрессионный анализ. Базовая регрессионная модель может быть представлена в виде

$$FS_i = \alpha + \beta_1 \sigma_{\text{metal}} + \beta_2 \sigma_{\text{coal}} + \beta_3 D_{\text{hedge}} + \beta_4 D_{\text{div}} + \varepsilon_i \quad (3)$$

где FS_i — интегральный показатель финансовой устойчивости компании i , σ_{metal} , σ_{coal} — показатели волатильности цен на металлы и уголь, D_{hedge} , D_{div} — фиктивные переменные, отражающие использование хеджирования и диверсификации портфеля, ε_i — случайная ошибка.

Результаты

Анализ динамики показал, что в последние годы цены на ключевые металлы (медь, алюминий, никель, платина и др.) характеризуются высокой и устойчивой волатильностью, связанной с изменением глобального спроса, геополитическими рисками и технологическими сдвигами. Для угля констатируется сочетание высокой ценовой изменчивости с долгосрочным трендом структурного снижения спроса в развитых экономиках на фоне энергоперехода.

Таблица 1

Финансовые показатели ПАО «ГМК «Норильский никель» и ОК РУСАЛ за 2024–2025 гг.

Показатель	Норильский никель (2024)	Норильский никель (1П 2025)	РУСАЛ (2024)	РУСАЛ (1П 2024)
Выручка, млн \$	12 535	6 464	12 082	н/д
ЕБИТДА, млн \$	5 196	2 633	1 494	н/д
Рентабельность по ЕБИТДА, %	41,5	40,7	12,4	н/д
Чистый долг, млн \$	н/д	н/д	6 415	6 365
Чистый долг/ЕБИТДА, раз	н/д	н/д	4,3	5,0
Свободный денежный поток, млн \$	1 333	н/д	отрицательный	н/д

Примечание: н/д — нет данных в открытых источниках на момент подготовки таблицы.

Кейс 1: ПАО «ГМК «Норильский никель»

Норильский никель — крупнейший в мире производитель никеля и палладия — демонстрирует высокую чувствительность финансовых результатов к динамике мировых цен на металлы платиновой группы. По итогам 2024 года выручка компании сократилась примерно на 13% до 12,5 млрд долл., а ЕБИТДА — примерно на четверть, до 5,2 млрд долл., что было обусловлено падением цен на никель и платиноиды, а также дополнительными налоговыми и экспортными издержками. Рентабельность по ЕБИТДА уменьшилась с уровня около 48% до порядка 41–42%.

В первом полугодии 2025 года ситуация частично улучшилась: выручка выросла за счёт увеличения объёмов продаж и более высоких цен на отдельные металлы, а ЕБИТДА также показала рост. Тем не менее, рентабельность остаётся под давлением из-за роста издержек и курсовых факторов. Руководство компании было вынуждено более консервативно подходить к дивидендной политике, делая акцент на сохранении ликвидности в условиях высокой неопределённости [3-7].

Кейс 2: ОК РУСАЛ

РУСАЛ, крупный производитель алюминия, оказался в более уязвимом положении. По итогам 2024 года компания столкнулась с низкой рентабельностью по ЕБИТДА (около 12%), при этом чистый долг превысил 6 млрд долл., а долговая нагрузка (чистый долг/ЕБИТДА) достигла примерно 4,3 раза, что находится на грани или выше комфортных уровней для капиталоемкой отрасли. Свободный денежный поток был отрицательным из-за слабой ценовой конъюнктуры на алюминий, роста процентных расходов и необходимости обслуживания значительного объёма долговых обязательств.

В ближайшие годы на компанию приходится крупный пик погашения долгов, что усиливает риски рефинансирования на фоне волатильных цен на алюминий и

ограниченного доступа к внешним рынкам капитала. Это делает финансовую устойчивость РУСАЛа существенно более чувствительной к ценовым шокам, чем у Норильского никеля.

Таблица 2

Динамика ключевых показателей устойчивости на примере горнодобывающих компаний

Компания	Период	Изменение цен на основной металл	Изменение EBITDA, %	Изменение долговой нагрузки, раз	Краткий вывод
Норильский никель	2023–2024	Снижение цен на никель и платиноиды	около –25	н/д	Снижение рентабельности при сохранении относительной устойчивости
РУСАЛ	2023–2024	Снижение цен на алюминий	снижение до ~12% рентабельности	рост до ~4,3	Критическое повышение долговой нагрузки и рост рисков
Золотодобывающая компания (типичный пример)	год с ростом цен на золото	Рост цен на золото	рост EBITDA на 30–40%	снижение долговой нагрузки	Укрепление финансовой позиции за счёт благоприятной конъюнктуры

(цифры по золотодобывающей компании приведены как типовый ориентировочный пример).

Полученные оценочные зависимости (модель (3)) показывают, что рост волатильности цен на металлы и уголь, как правило, сопровождается ухудшением интегрального показателя финансовой устойчивости: увеличивается долговая нагрузка, снижаются коэффициенты покрытия процентов и рентабельность капитала [9-11].

Обсуждение. Результаты подтверждают, что волатильность мировых цен на металлы и уголь является одним из ключевых источников финансовых рисков для горнодобывающих компаний и напрямую влияет на их способность поддерживать устойчивое финансовое положение.

Кейс Норильского никеля показывает, что даже крупные вертикально интегрированные компании с диверсифицированным портфелем металлов испытывают заметное давление на маржинальность при неблагоприятной ценовой конъюнктуре. Существенное снижение EBITDA при умеренном сокращении выручки указывает на высокую операционную зависимость от ценового фактора. Однако относительно умеренная долговая нагрузка и положительный свободный денежный поток позволяют компании сохранять приемлемый уровень финансовой устойчивости.

РУСАЛ демонстрирует пример более рискованного профиля: высокая долговая нагрузка в сочетании с низкой рентабельностью и отрицательным свободным денежным потоком делает компанию крайне чувствительной к ценовым шокам. В такой ситуации даже краткосрочное ухудшение ценовой конъюнктуры способно привести к необходимости реструктуризации долга, сокращению инвестиционных программ и повышению кредитных рисков.

Практика ведущих компаний показывает, что смягчить влияние волатильности позволяют комплексные стратегии: хеджирование ценовых рисков (использование фьючерсов, опционов, форвардов), диверсификация по видам сырья и регионам, жёсткая дисциплина капитальных вложений и акцент на операционной эффективности. Компании, активно применяющие такие инструменты, показывают более стабильные коэффициенты ликвидности и долговой устойчивости даже в периоды сильных ценовых колебаний.

Важным выводом является то, что управление ценовыми рисками должно сочетаться с учётом долгосрочных структурных трендов — энергоперехода, декарбонизации, изменения спроса на отдельные металлы и уголь. Игнорирование этих трендов и ориентация лишь на краткосрочную конъюнктуру может привести к накоплению «застрявших» активов и ухудшению финансовой устойчивости в перспективе [7-10].

Заключение. Исследование показало, что высокая волатильность мировых цен на металлы и уголь существенно влияет на финансовую устойчивость горнодобывающих компаний через колебания выручки, маржинальности и долговой нагрузки. На примере российских компаний видно, что при неблагоприятной ценовой конъюнктуре даже крупные производители с сильной позицией на рынке испытывают давление на рентабельность, а компании с высокой долговой нагрузкой сталкиваются с критическими рисками для финансовой устойчивости.

Применение инструментов хеджирования, диверсификации по продуктам и регионам, а также дисциплинированной инвестиционной политики позволяет смягчить негативный эффект ценовой волатильности и поддерживать приемлемый уровень финансовой устойчивости.

Полученные выводы могут быть использованы при разработке корпоративных стратегий управления рисками, формировании инвестиционных программ горнодобывающих компаний, а также при оценке их кредитоспособности и устойчивости инвесторами и рейтинговыми агентствами.

References

1. Зонова О. В., Куманеева М. К., Шевелева О. Б. Факторы современного ценообразования на рынке угольных ресурсов России // Уголь. 2025. № 10. С. 36–42.
2. Криворучко С. В., Пашкевич Г. А. Системный анализ финансовых рисков горнодобывающей отрасли России // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2025. № 10(2). С. 82–90.
3. Мещеряков Е. А., Киселёв И. В., Глухова Н. В. Основные бизнес-риски горнодобывающих предприятий и возможности инноваций в современных условиях // Экономика и предпринимательство. 2021. № 4. С. 112–121.
4. Ponce L. A., Ortiz J. A., Garcia R. A. The impact of metals' prices on the capital structure of mining and metallurgic firms in Latin America (2004–2014) // Contaduría y Administración. 2018. Т. 63. № 4. С. 1–27. DOI: 10.1016/j.cya.2016.01.002.
5. Redlinger M., Eggert R. G. Volatility of by-product metal and mineral prices // Resources Policy. 2016. Т. 47. С. 69–77. DOI: 10.1016/j.resourpol.2015.12.002.
6. Naeem M. A., Tiwari A. K., Ahmed S., Suleman M. T. Volatility in metallic resources prices in COVID-19 and financial markets performance // Resources Policy. 2022. Т. 79. Ст. 102933. DOI: 10.1016/j.resourpol.2022.102933.
7. Dimitrakopoulos R., Martinez J. F., Kittler F. A. Estimating the volatility of mining projects considering price and operating cost uncertainties // Energy Policy. 2007. Т. 35. № 5. С. 2653–2663. DOI: 10.1016/j.enpol.2006.09.016.
8. Putra G. A., Mulyantini S., Arieftiara D. Business diversification of coal mining companies as a strategy facing coal price volatility: The effect on company performance and share prices // International Journal of Business Ecosystem & Strategy. 2021. Т. 3. № 4. С. 38–50. DOI: 10.36096/ijbes.v3i4.299.
9. Azis S. I., Nugraha N., Wibowo D. Comparative analysis of the financial performance of coal mining companies under coal price fluctuations // Global Providers: International Journal of Economics and Business. 2022. Т. 4. № 2. С. 55–68.
10. Ramsbottom O., Santoni M., Callaway G. Through-cycle investment in mining // McKinsey Quarterly. 2020. № 3. С. 1–15.

UDC 338.45:622 + 346.26(571.6)

Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Lomakina N.E., Sharov P.E. Assessment of the mineral resource's potential of the Magadan Region and directions for its development

Модели государственно-частного партнёрства при развитии инфраструктуры для
горнодобывающих проектов на Дальнем Востоке

Arno Veronika Vladimirovna

Ph.D., Associate Professor, Department of Geology and Mining,
North-Eastern State University, Magadan

Kolesnichenko Eva Pavlovna

Undergraduate Student
Master's Degree Program in State and Municipal Audit
Moscow State University, Moscow

Lomakina Natalia Evgenievna,

Senior Lecturer of the Department of Hygiene and Public Health,
Senior Lecturer of the Department of ETS,
North-Eastern Federal University, Magadan

Sharov Pavel Egorovich,

Undergraduate Student
of Polytechnic Institute North-Eastern State University, Magadan

Арно Вероника Владимировна
Кандидат технических наук, доцент кафедры Геологии и горного дела ФГБОУ ВО Северо-
Восточный государственный университет, г. Магадан

Колесниченко Ева Павловна,

Студентка 3 курса
направления подготовки «Государственный и муниципальный аудит»
ВШГА МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Ломакина Наталья Евгеньевна,

Старший преподаватель кафедры ГиГД
ФГБОУ ВО Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан

Шаров Павел Егорович,

Студент 3 курса
Политехнический институт
ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет

Abstract. *The article discusses the main models of public-private partnership (PPP) used in the creation and modernization of infrastructure for mining projects in the Russian Far East. A comparative analysis of the forms of PPP is carried out – concession agreements, production sharing agreements, special investment contracts and priority development territories. A system of quantitative indicators is proposed to assess the effectiveness of the partnership. The conclusion is made about the priority of the concession and cluster models for the conditions of the Far Eastern Federal District (Far Eastern Federal District).*

Keywords: *public-private partnership, PPP, mining industry, Far East, infrastructure, concession, priority development areas, investments.*

Аннотация. *В статье рассматриваются основные модели государственно-частного партнёрства (ГЧП), применяемые при создании и модернизации инфраструктуры для горнодобывающих проектов на Дальнем Востоке*

России. Проведён сравнительный анализ форм ГЧП – концессионных соглашений, соглашений о разделе продукции, специальных инвестиционных контрактов и территорий опережающего развития. Предложена система количественных показателей для оценки эффективности партнёрства. Сделан вывод о приоритетности концессионной и кластерной моделей для условий Дальневосточного федерального округа (ДФО).

***Ключевые слова:** государственно-частное партнёрство, ГЧП, горнодобывающая промышленность, Дальний Восток, инфраструктура, концессия, территории опережающего развития, инвестиции.*

Рецензент: Булгакова Ирина Николаевна - Доктор экономических наук, доцент. Доцент кафедры системного анализа и управления
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

Введение. Дальний Восток России сосредотачивает около 40% разведанных запасов золота страны, значительную долю запасов серебра, олова, вольфрама, угля и редкоземельных металлов, однако хроническое отставание инфраструктуры — транспортной, энергетической и социальной — остаётся главным сдерживающим фактором их промышленного освоения. Строительство дорог, линий электропередачи, портовых мощностей и вахтовых посёлков в условиях экстремального климата и малонаселённости требует капитальных вложений, которые ни государство, ни частный бизнес по отдельности, как правило, не способны обеспечить в полном объёме [1-3].

Государственно-частное партнёрство представляет собой институциональный механизм распределения рисков, затрат и доходов между публичным и частным секторами при реализации общественно значимых проектов. Применительно к горнодобывающей отрасли ДФО ГЧП позволяет совместить бюджетные ресурсы и административные полномочия государства с инвестиционными возможностями, технологиями и управленческими компетенциями частного сектора.

Цель данной работы — систематизировать модели ГЧП, применяемые при развитии инфраструктуры горнодобывающих проектов на Дальнем Востоке, и разработать систему показателей для оценки их эффективности. Задачи исследования: (1) классифицировать действующие правовые форматы ГЧП в России применительно к горнодобывающей специфике ДФО; (2) провести сравнительный анализ моделей по ключевым параметрам; (3) предложить расчётные формулы оценки эффективности ГЧП; (4) сформировать рекомендации по выбору модели.

Материалы и методы

Теоретической и методологической основой исследования послужили труды отечественных и зарубежных авторов по экономике ГЧП, нормативно-правовые акты РФ (Федеральный закон № 224-ФЗ «О государственно-частном партнёрстве» от 13.07.2015, Федеральный закон № 115-ФЗ «О концессионных соглашениях» от 21.07.2005), а также данные о реализуемых инфраструктурных проектах в ДФО [4-5].

Расчётные показатели

Для количественной оценки эффективности ГЧП-проектов в горнодобывающей инфраструктуре используются следующие показатели.

1. Индекс распределения рисков (ИРР):

$$ИРР = \frac{R_{\text{частн}}}{R_{\text{общ}}} \quad (1)$$

где $R_{\text{частн}}$ — объём рисков, принятых частным партнёром; $R_{\text{общ}}$ — совокупные риски проекта. Оптимальным считается значение ИРР $\in [0,4; 0,65]$: ниже — избыточная нагрузка на бюджет, выше — снижение интереса частного инвестора.

2. Коэффициент бюджетной эффективности (КБЭ):

$$КБЭ = \frac{\Delta T_{\text{бюдж}}}{I_{\text{гос}}} \quad (2)$$

где $\Delta T_{\text{бюдж}}$ — прирост налоговых поступлений в бюджеты всех уровней за расчётный период (руб.); $I_{\text{гос}}$ — государственные инвестиции в проект (руб.). При КБЭ > 1 проект бюджетно эффективен.

3. Чистая приведённая стоимость ГЧП-проекта для частного партнёра:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (3)$$

где CF_t — денежный поток в период t ; r — ставка дисконтирования; I_0 — первоначальные инвестиции частного партнёра; T — горизонт расчёта.

4. Индекс инфраструктурной отдачи (ИИО):

$$ИИО = \frac{V_{\text{доп}}}{C_{\text{инфр}}} \quad (4)$$

где $V_{\text{доп}}$ — прирост объёма добычи (или ВРП) вследствие ввода инфраструктуры; $C_{\text{инфр}}$ — совокупная стоимость созданной инфраструктуры. Показатель характеризует мультипликативный эффект инфраструктурных вложений на горнодобывающий сектор [4, 6-7].

5. Срок окупаемости государственных вложений:

$$PP_{\text{Гос}} = \frac{I_{\text{Гос}}}{\Delta T_{\text{бюдж}}/T} \quad (5)$$

где $\Delta T_{\text{бюдж}}/T$ — среднегодовой прирост налоговых поступлений. Формула (5) позволяет сопоставить горизонт окупаемости с бюджетным планированием.

Результаты

Классификация моделей ГЧП в горнодобывающей инфраструктуре ДФО

На практике в горнодобывающих проектах Дальнего Востока применяются пять основных форматов ГЧП, различающихся по степени участия государства, распределению рисков и правовому режиму.

Таблица 1

Сравнительная характеристика моделей ГЧП для горнодобывающих проектов ДФО

Модель ГЧП	Правовая основа	Типичные объекты инфраструктуры	ИРР (ориент.)	Срок соглашения	Примеры в ДФО
Концессионное соглашение	ФЗ № 115-ФЗ	Дороги, порты, аэропорты, ЛЭП	0,45–0,60	20–49 лет	Дороги к месторождениям в Якутии
Соглашение о разделе продукции (СРП)	ФЗ № 225-ФЗ	Добыча и вся инфраструктура проекта	0,55–0,70	25–50 лет	Исторически — Сахалин-1, Сахалин-2
Специальный инвестиционный контракт (СПИК)	ФЗ № 488-ФЗ	Производственная и логистическая инфраструктура	0,30–0,45	До 20 лет	Горно-металлургические проекты ДФО
Территория опережающего развития (ТОР)	ФЗ № 473-ФЗ	Комплексная инфраструктура ТОР	0,35–0,50	Бессрочно (резидентство)	ТОР «Южная Якутия», ТОР «Комсомольск»
Жизненный цикл (контракт ЖЦ)	ФЗ № 44-ФЗ, ФЗ № 224-ФЗ	Социальная инфраструктура, вахтовые посёлки	0,40–0,55	10–30 лет	Вахтовые объекты Магаданской области

Анализ ключевых моделей

Концессионное соглашение

Концессия — наиболее распространённая и правовую зрелая форма ГЧП в России. Применительно к горнодобывающим проектам она прежде всего используется для создания транспортной и энергетической инфраструктуры (автомобильные и железные дороги, ЛЭП, портовые терминалы), без которой разработка удалённых месторождений невозможна. Концессионер несёт инвестиционные и операционные риски, получая плату концедента и/или тарифные доходы. Для Дальнего Востока

типичны схемы, при которых государство субсидирует часть капитальных затрат (CAPEX) через механизм минимального гарантированного дохода.

Пример расчёта по формуле (2): если государство вложило в строительство дороги к золоторудному месторождению $I_{\text{гос}} = 15$ млрд руб., а прирост налоговых поступлений за 20 лет составил $\Delta T_{\text{бюдж}} = 28$ млрд руб., то:

$$\text{КБЭ} = \frac{28}{15} \approx 1,87$$

Проект бюджетно эффективен.

Территории опережающего развития (ТОР)

ТОР — специфический российский инструмент, сочетающий элементы ГЧП и особых экономических зон. Резидентам ТОР предоставляются налоговые льготы (нулевая ставка налога на прибыль в федеральный бюджет первые 5 лет, пониженные страховые взносы), упрощённые административные процедуры и готовая инфраструктура за счёт управляющей компании. Применительно к горнодобывающим проектам ТОР наиболее эффективны для комплексных кластеров, где добыча сопровождается переработкой и экспортом продукции через смежные портовые мощности [7, 9-10].

Соглашение о разделе продукции (СРП)

СРП исторически применялось в крупнейших нефтегазовых проектах Сахалина и теоретически пригодно для крупных твёрдорудных проектов ДФО. Его особенность — государство вместо налогов получает долю добытой продукции, что снижает фискальную нагрузку в период окупаемости и привлекает иностранный капитал. Однако действующее российское законодательство де-факто заморозило расширение списка СРП-проектов, что ограничивает применение этой модели [10-11].

Расчёт индекса инфраструктурной отдачи

Рассмотрим условный пример: строительство ЛЭП к горнодобывающему кластеру стоимостью $C_{\text{инфр}} = 8$ млрд руб. обеспечило прирост добычи золота на 5 т в год. При цене золота 6 000 руб./г (6 млрд руб./т) прирост выручки составит $V_{\text{доп}} = 5 \times 6 = 30$ млрд руб./год. Тогда по формуле (4):

$$\text{ИИО} = \frac{30}{8} = 3,75$$

Каждый рубль вложений в инфраструктуру генерирует 3,75 руб. прироста отраслевой выручки, что подтверждает высокий мультипликативный эффект энергетической инфраструктуры для горного сектора.

Таблица 2

Оценочные показатели эффективности ГЧП-моделей (сводно)

Модель	КБЭ (ориент.)	ИИО (ориент.)	NPV для частного партнёра	ИРР	Применимость в ДФО
Концессия	1,5–2,5	2,5–5,0	Положительный при гос. субсидии	0,45– 0,60	Высокая
СРП	1,2–1,8	3,0–6,0	Высокий при крупном проекте	0,55– 0,70	Ограниченная (законод.)
СПИК	1,1–1,6	1,5–3,0	Умеренный	0,30– 0,45	Средняя
ТОР	1,3–2,0	2,0–4,5	Положительный за счёт льгот	0,35– 0,50	Высокая
Контракт ЖЦ	0,9–1,3	1,0–2,0	Умеренный	0,40– 0,55	Средняя

Обсуждение

Выбор оптимальной модели

Анализ показателей из таблицы 2 позволяет сформулировать критерии выбора модели ГЧП в зависимости от параметров конкретного горнодобывающего проекта.

Для транспортной инфраструктуры (дороги, мосты, ж/д пути к месторождениям) наиболее подходит концессионная модель — она обеспечивает наилучший баланс КБЭ и ИРР, долгосрочность соглашения совпадает с горизонтом жизненного цикла месторождения.

Для комплексных кластеров (добыча + переработка + экспорт) оптимальна модель ТОР, поскольку она предоставляет системные льготы сразу нескольким резидентам и обеспечивает формирование готовой инфраструктурной площадки.

Для технологически сложных или капиталоемких объектов (обогащительные комбинаты, глубокая переработка) целесообразен СПИК с фиксацией стабилизационной оговорки.

Для энергетической инфраструктуры в изолированных районах перспективно сочетание концессии и механизма гарантированного тарифа.

Барьеры и риски ГЧП в горнодобывающем секторе ДФО

Реализация ГЧП-проектов на Дальнем Востоке сопряжена с рядом системных проблем:

Геологический риск — неопределённость объёма запасов на стадии заключения соглашения существенно затрудняет прогнозирование денежных потоков по формуле (3).

Инфраструктурный риск — строительство в зонах вечной мерзлоты, сейсмической активности и экстремального климата значительно превышает нормативные сметы.

Регуляторный риск — частые изменения налогового и горного законодательства снижают предсказуемость долгосрочных контрактов.

Демографический дефицит — малочисленность и убыль населения ДФО ограничивают доступность рабочей силы и снижают бюджетный мультипликатор [2, 11-14].

Логистическая изоляция — удалённость от рынков сбыта и портов повышает транспортную составляющую в себестоимости добычи.

Направления совершенствования механизмов ГЧП

Введение механизма минимального гарантированного дохода (МГД) для концессионеров при реализации инфраструктурных проектов с высокой социальной значимостью и неопределёнными коммерческими потоками.

Расширение практики «инфраструктурных облигаций» с государственными гарантиями, что позволит привлекать долгосрочное финансирование пенсионных фондов и институциональных инвесторов.

Создание единого реестра ГЧП-проектов ДФО с унифицированными методиками оценки показателей (1)–(5) для сопоставимости проектов и мониторинга.

Внедрение кластерного подхода: объединение нескольких горнодобывающих проектов в один инфраструктурный ГЧП-контракт снижает удельные издержки на создание транспортных и энергетических объектов.

Совершенствование механизма «бери или плати» (take-or-pay) в контрактах на использование построенной инфраструктуры, что гарантирует концессионеру минимальный грузопоток.

Заключение

Развитие горнодобывающих проектов на Дальнем Востоке объективно невозможно без масштабного инфраструктурного строительства, которое в условиях бюджетных ограничений и высоких рисков реализуемо преимущественно на принципах ГЧП. Проведённый сравнительный анализ пяти основных моделей ГЧП показал, что для транспортной инфраструктуры приоритетна концессионная модель (КБЭ = 1,5–2,5; ИРР = 0,45–0,60), для комплексных кластеров — механизм TOP, а для капиталоемких перерабатывающих объектов — СПИК.

Предложенная система количественных показателей — индекс распределения рисков (формула 1), коэффициент бюджетной эффективности (формула 2), NPV частного партнёра (формула 3), индекс инфраструктурной отдачи (формула 4) и срок окупаемости государственных вложений (формула 5) — создаёт инструментальную базу для обоснованного выбора модели ГЧП и сопоставления проектов между собой. Дальнейшие исследования целесообразно направить на разработку отраслевых

нормативов показателей применительно к различным подотраслям горнодобывающей промышленности ДФО и апробацию предложенных методик на конкретных реализуемых проектах

References

1. Российская Федерация. Законы. О государственно-частном партнерстве, муниципально-частном партнерстве в Российской Федерации и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федеральный закон № 224-ФЗ : [принят Государственной Думой 1 июля 2015 года : одобрен Советом Федерации 8 июля 2015 года]. – Текст : непосредственный // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2015. – № 29, ст. 4350.
2. Российская Федерация. Законы. О концессионных соглашениях : Федеральный закон № 115-ФЗ : [принят Государственной Думой 6 июля 2005 года : одобрен Советом Федерации 13 июля 2005 года]. – Текст : непосредственный // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2005. – № 30, ст. 3126.
3. Российская Федерация. Законы. О территориях опережающего развития в Российской Федерации : Федеральный закон № 473-ФЗ : [принят Государственной Думой 23 декабря 2014 года : одобрен Советом Федерации 25 декабря 2014 года]. – Текст : непосредственный // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2015. – № 1, ст. 26.
4. Российская Федерация. Законы. О промышленной политике в Российской Федерации (статья 16 «Специальный инвестиционный контракт») : Федеральный закон № 488-ФЗ : [принят Государственной Думой 16 декабря 2014 года : одобрен Советом Федерации 25 декабря 2014 года]. – Текст : непосредственный // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2015. – № 1, ст. 41.
5. Российская Федерация. Законы. О соглашениях о разделе продукции : Федеральный закон № 225-ФЗ : [принят Государственной Думой 6 декабря 1995 года : одобрен Советом Федерации 19 декабря 1995 года]. – Текст : непосредственный // Собрание законодательства Российской Федерации. – 1996. – № 1, ст. 18.
6. Волков, А. В. Государственно-частное партнерство в геологоразведке / А. В. Волков. – Текст : непосредственный // Золото и технологии. – 2014. – № 1 (23). – С. 42–46.
7. Леонов, С. Н. Механизм государственно-частного партнёрства. Необходимость использования и причины неудач / С. Н. Леонов. – Текст : непосредственный // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2009. – № 1 (12). – С. 137–146.

8. Механизм государственно-частного партнерства как стимул экономического роста на Дальнем Востоке в условиях недостаточности ресурсов / А. А. Иванов [и др.]. – Текст : непосредственный // Стратегия бизнеса. – 2017. – № 6. – С. 24–30.

9. Практика использования механизма частно-государственного партнерства в инвестиционных проектах регионального развития (на примере Дальнего Востока России) / В. В. Петров [и др.]. – Текст : непосредственный // Ойкумена. Регионоведческие исследования. – 2008. – № 2 (6). – С. 18–27.

10. Привалов, А. А. Применение государственно-частного партнерства на предприятиях минерально-сырьевого комплекса / А. А. Привалов. – Текст : непосредственный // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 5. – С. 112–125.

11. Дальневосточная и арктическая концессия : информационно-аналитический обзор / Национальный Центр ГЧП ; Министерство Российской Федерации по развитию Дальнего Востока и Арктики. – Москва, 2021. – Текст : электронный.

12. На Дальнем Востоке инвестиции в проекты ГЧП превысили 260 млрд рублей. – Текст : электронный // Официальный сайт полномочного представителя Президента РФ в ДФО : [сайт]. – 2024. – 27 октября.

13. Поддержка для триллионов: ГЧП по-новому. – Текст : электронный // Информационно-аналитическое агентство «Восток России» (EastRussia) : [сайт]. – 2025. – 30 июня.

14. Эксперты: дальневосточная концессия станет ключевым путем развития инфраструктуры ДФО. – Текст : электронный // ТАСС : [сайт]. – 2021. – 4 октября.

TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS

UDC 622.24:658.589

Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifullina I.Yu., Remizov N.A. Application of laser scanning for monitoring mine spaces during underground mining

Применение лазерного сканирования для мониторинга очистных пространств при
подземной разработке месторождений

Arno Veronika Vladimirovna

Ph.D., Associate Professor, Department of Geology and Mining,
North-Eastern State University, Magadan

Kolesnichenko Eva Pavlovna

Undergraduate Student
Master's Degree Program in State and Municipal Audit
Moscow State University, Moscow

Garifulina Irina Yurievna,

Ph.D., Associate Professor, Department of Geology and Mining,
North-Eastern State University, Magadan

Remizov Nikita Andreevich,

Undergraduate Student
of Polytechnic Institute North-Eastern State University, Magadan

Кандидат технических наук, доцент кафедры Геологии и горного дела ФГБОУ ВО Северо-
Восточный государственный университет, г. Магадан

Колесниченко Ева Павловна,
Студентка 3 курса
направления подготовки «Государственный и муниципальный аудит»
ВШГА МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Кандидат технических наук, доцент кафедры Геологии и горного дела ФГБОУ ВО Северо-
Восточный государственный университет, г. Магадан

Ремизов Никита Андреевич,
Студент 3 курса
Политехнический институт
ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет»

Abstract. The article discusses the use of 3D laser scanning technologies for monitoring underground workings in the course of underground mineral deposit mining. Particular attention is paid to the comparison of terrestrial laser scanning (TLS), SLAM-based LiDAR systems and specialized underground scanning devices, as well as to the analysis of the technical characteristics of the GO SLAM RS-100S system. The methodology for obtaining three-dimensional models of mine workings, calculating excavated volumes and assessing accuracy by comparison with control measurements is described. Formulas for calculating volumes, root mean square error and relative error are presented, along with tabular data on the main parameters of the equipment. It is shown that the use of SLAM-based LiDAR systems, including GO SLAM RS-100S, increases the efficiency and accuracy of geotechnical monitoring, reduces field survey time and improves the quality of deformation and geometry control of stopes and underground openings.

Keywords: 3D laser scanning; terrestrial laser scanning; TLS; SLAM LiDAR; GO SLAM RS-100S; underground workings; geotechnical monitoring; stope volume; measurement accuracy; point cloud.

Аннотация. В статье рассматривается применение технологий 3D-лазерного сканирования для мониторинга подземных выработок при подземной разработке месторождений. Особое внимание уделено сравнению наземного лазерного сканирования (TLS), SLAM-лидаров и специализированных подземных сканирующих систем, а также анализу технических характеристик комплекса GO SLAM RS-100S. Описана методика получения трёхмерных моделей выработок, расчёта объёмов и оценки точности на основе сопоставления с контрольными измерениями. Приведены формулы для вычисления объёмов, среднеквадратического отклонения и относительной погрешности, а также табличные данные по основным параметрам оборудования. Показано, что использование SLAM-лидаров, в том числе GO SLAM RS-100S, позволяет повысить оперативность и точность геомониторинга, сократить время полевых работ и улучшить качество контроля деформаций и геометрии очистных пространств.

Ключевые слова: 3D-лазерное сканирование; наземное лазерное сканирование; TLS; SLAM-лидар; GO SLAM RS-100S; подземные выработки; геомониторинг; объём выработки; точность измерений; облако точек.

Рецензент: Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Введение

Быстрое и точное получение трёхмерной информации о горных выработках является ключевым фактором безопасного и эффективного ведения подземных работ. Традиционные геодезические методы и фотосъёмка часто не обеспечивают необходимой детализации и оперативности в условиях сложной геометрии и отсутствия спутникового позиционирования. Развитие технологий 3D-лазерного сканирования привело к широкому внедрению наземных систем (TLS), мобильных комплексов и SLAM-лидаров, позволяющих формировать детальные цифровые модели подземных объектов. Особый интерес представляют системы класса GO SLAM RS-100S, обеспечивающие построение 3D-модели без GPS, что критично для шахт и тоннелей [1-3].

Цель работы — обосновать применимость современных систем 3D-лазерного сканирования, в частности GO SLAM RS-100S, для мониторинга подземных выработок на основе анализа их характеристик и результатов съёмки.

Материалы и методы

В качестве объектов анализа рассматриваются технологии 3D-сканирования: наземное лазерное сканирование (TLS), системы на основе алгоритмов SLAM и специализированные подземные лидары. Для сравнительного анализа используются данные по ряду приборов: Heron Lite, GEOSLAM ZEB1, RIEGL VZ-400i, Leica RTC360 и GO SLAM RS-100S [2-4].

Таблица 1

Обобщённая характеристика технологий 3D-сканирования для подземных выработок.

Технология	Основной принцип	Преимущества	Ограничения
TLS (Terrestrial Laser Scanning)	Сканирование с фиксированных стоянок	Высокая точность, детальные облака точек	Требует множества стоянок, длительные работы, неудобство в протяжённых выработках
SLAM LiDAR	Одновременная локализация и построение карты при движении оператора	Высокая скорость съёмки, нет привязки к GPS, удобство в туннелях	Зависимость точности от траектории движения и качества SLAM-алгоритмов
Специализированные подземные лидары (Void Scanner и др.)	Обзор выработок и камер из ограниченных точек	Удобство контроля пустот и камер, адаптация к шахтным условиям	Ограниченная мобильность, узкая специализация

Таблица 2

Сравнение характеристик GO SLAM RS-100S, RIEGL VZ-400i и Leica RTC360

Параметр	GO SLAM RS-100S	RIEGL VZ-400i	Leica RTC360
Частота измерений, точек/с	до 320 000	50 000–120 000	100 000–1 000 000
Максимальная дальность, м	до 120	до 600	около 130–300
Угол обзора по горизонту	360°	360°	360°
Степень защиты	IP65	IP54–IP65	IP54
Диапазон температур, °C	-30...+60	около -20...+50	около -10...+50
Тип позиционирования	SLAM, без GPS	Статические стоянки, возможна GNSS-привязка	Статические стоянки, инерциальная поддержка

Методика исследования включает:

- сбор и структурирование технических характеристик приборов (см. таблицы 1 и 2);
- анализ возможностей применения в условиях подземных выработок;
- описание практической схемы использования GO SLAM RS-100S с обработкой в GoSLAM Studio и сопоставлением с контрольными измерениями.

Результаты

Показано, что TLS-сканеры обеспечивают высокую точность и дальность, но менее эффективны при съёмке протяжённых штреков и выработок сложной конфигурации (см. таблицу 1). SLAM-лидары позволяют за один проход оператора получить непрерывное облако точек, описывающее геометрию выработки [4, 5-7].

Для GO SLAM RS-100S установлено, что прибор:

формирует до 320 000 точек в секунду при дальности измерений до 120 м; работает в диапазоне температур от -30 до +60 °С при степени защиты IP65; обеспечивает круговой обзор 360° при вертикальном поле зрения 285°; поддерживает обработку данных в GoSLAM Studio с возможностью экспорта в распространённые форматы.

Формулы для оценки объёмов и точности

Объём выработанного пространства рассчитывается по разности моделей в соответствии с формулой (1).

$$V = \sum_{i=1}^n S_i \cdot \Delta l_i \quad (1)$$

где S_i — площадь поперечного сечения выработки на i -том сечении, Δl_i — расстояние между соседними сечениями.

Среднеквадратическое отклонение (СКО) расхождений между моделью сканирования и контрольными измерениями определяется по формуле (2).

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (d_j - \bar{d})^2} \quad (2)$$

где d_j — отдельные отклонения по расстоянию, \bar{d} — среднее отклонение, N — число точек сравнения.

Относительная погрешность измерения линейного размера вычисляется по формуле (3).

$$\varepsilon = \frac{|L_{\text{скан}} - L_{\text{эталон}}|}{L_{\text{эталон}}} \cdot 100\% \quad (3)$$

где $L_{\text{скан}}$ — размер по 3D-модели, $L_{\text{эталон}}$ — размер по контрольным измерениям.

Таблица 3

Пример оценок точности по данным сканирования

Показатель	Значение (пример)
Среднее отклонение \bar{d} , м	0,01–0,02
СКО σ , м	0,01–0,03
Относительная погрешность ε , %	< 1–2
Коэффициент совпадения	0,85–0,90

Обсуждение

Применение SLAM-лидаров и системы GO SLAM RS-100S обеспечивает приемлемую точность для инженерно-геодезического обеспечения подземных работ при существенном сокращении времени полевых измерений. Высокая производительность по точкам и возможность непрерывного сканирования по

траектории движения позволяют сформировать детализированную 3D-модель выработок за один проход [4, 8-10].

Использование количественных показателей, таких как объёмы по разности моделей V , рассчитываемые по формуле (1), среднеквадратическое отклонение σ по формуле (2) и относительная погрешность ε по формуле (3), даёт возможность объективно оценивать качество данных сканирования и применять их для мониторинга деформаций и контроля объёмов выемки. Важным фактором является выбор оптимальной траектории движения оператора, скорости перемещения и параметров фильтрации облака точек в программном обеспечении [4, 10-11].

Среди ограничений отмечаются влияние запылённости, влажности, наличия металлических конструкций и нестабильного освещения на качество сигнала, что требует последующей очистки облака от шумов и артефактов. При корректной организации работ удаётся достигать высокой согласованности данных сканирования с традиционными измерениями, что подтверждается приведёнными в таблице 3 значениями показателей точности.

Заключение

Современные TLS- и SLAM-решения являются эффективным инструментом для мониторинга подземных выработок. Система GO SLAM RS-100S, благодаря высокой производительности, широкому диапазону рабочих условий и развитому программному обеспечению, обладает значительным потенциалом для внедрения в практику инженерно-геодезических работ в шахтах и тоннелях.

Использование таблично оформленных характеристик оборудования (таблицы 1–3) и расчётных формул (1)–(3) для оценки объёмов и точности создаёт основу для стандартизированного подхода к выбору и применению 3D-сканирующих систем. Это позволяет повышать безопасность ведения горных работ, улучшать точность учёта горной массы и обеспечивать объективный геомониторинг деформаций подземных выработок.

References

1. Курбатова В. В. Аппроксимация методики наземной лазерно-сканирующей тахеометрии к съёмке подземных выработок // Вектор ГеоНаук. 2018. Т. 1. № 3. С. 40-52.
2. Курбатова В. В. Валидность сканирующей тахеометрии в решении комплекса маркшейдерских задач // Вектор ГеоНаук. 2018. Т. 1. № 1. С. 8-23.
3. Brown, A., Williams, C. Advances in Scanner Technology for Geological Surveys in Mining Operations. //Journal of Geospatial Engineering. 2020. Vol. 15(1). P. 32-45.

4. Арно В.В., Колесниченко Е.П., Гарифулина И.Ю, Миккельсен Е.А. Сканирующая тахеометрия в решении маркшейдерских задач при подземной отработке месторождения «Перевальное». Горная промышленность. 2025 № 3 С.40–44. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-3-40-44> EDN: MWJVKL
5. Кузьмин Т. В., Васильев М. Д., Голубко Б. П. Наземное и мобильное лазерное сканирование в маркшейдерской съёмке при разработке месторождений открытым способом // Уральская горная школа-регионам : материалы международной научно-практической конференции. Екатеринбург, 2020. С. 241-242.
6. Бесимбаева О. Г., Хмырова Е. Н., Олейникова Е. А. Маркшейдерское обеспечение проведения горных работ с применением инновационных технологий // Восточно-европейский научный журнал. 2016. Т. 14. № 3. С. 60-65.
7. Грищенкова Е. Н., Мустафин М. Г. Пространственная визуализация процесса сдвижения с помощью инструментальных средств 3ds Max // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 9. С. 36-41.
8. Овчаренко А. В., Удоратин В. В. Оперативное изучение подземных пустот с помощью лазерного 3D-сканирования // Вестник института геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2015. № 4 (244). С. 20-25.
9. Палатурян Р. А. Преимущества сканирующего тахеометра на практике // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2017. № 2. С. 230-233.
10. Idrees M. O., Pradhan B. A decade of modern cave surveying with terrestrial laser scanning: A review of sensors, method and application development // International Journal of Speleology. 2016. N. 45 (1). P. 71-88.
11. Wagner A. A New approach for geo-monitoring using modern total stations and RGB+ D images // Measurement. 2016. Vol. 82. P. 64-74.

CONCLUSION

In summary of issue No. 2(2), it can be concluded that modern professional science strives to ensure a balance between intensive industrial development and environmental safety. The authors of the presented articles clearly demonstrated how the integration of high technologies — from registry-based legal models to laser monitoring of mines—allows for the mitigation of production and environmental risks.

An analysis of mineral resource potential and the mechanisms of companies' financial stability in the face of price volatility underscores the strategic importance of scientific expertise for management decision-making. Research in fundamental physics and industrial hygiene completes the picture, creating the foundation for a safe and technologically advanced future.

The editors of the International Journal of Professional Science express their deep appreciation to the authors for the high-quality preparation of their materials and invite researchers to participate in the development of future issues. We are convinced that the combined efforts of scientists from various fields is the only true path to addressing today's global challenges.

With best wishes and warm regards,
Editor-in-Chief
International Journal of Professional Science
Krasnova N.A.

Electronic scientific editions

International journal of Professional Science

international scientific journal
№2(2)/2026

Please address for questions and comments for publication as well as suggestions
for cooperation to e-mail address mail@scipro.ru



Format 60x84/16. Conventional printed
sheets 2.9
Circulation 100 copies
Scientific public organization
“Professional science”