

ISSN 1609-9192 (print) • ISSN 2587-9138 (online)

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

30 ЛЕТ

Горная промышленность

RUSSIAN MINING INDUSTRY JOURNAL

№ 4 / 2025

РЕКЛАМА 16+



ogkgroup.ru

ОГК ГРУПП

**ВЕДУЩИЙ ПОСТАВЩИК СЕРВИСНЫХ УСЛУГ
В ГОРНОЙ ОТРАСЛИ**

Шахтные вентиляционные двери ШАВД

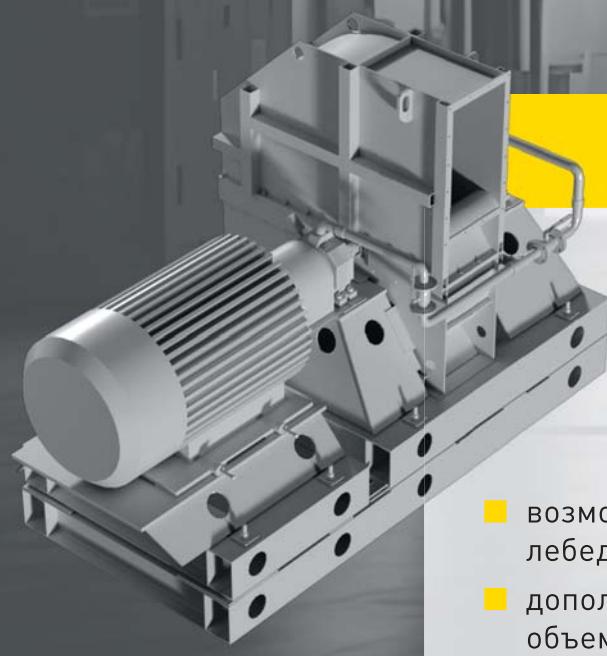
- разработка индивидуально под заказчика
- общее, взрывозащищенное, огнепреградительное или комбинированное исполнение
- одна или несколько секций с зависимым или независимым приводом каждой секции
- система автоматизации и приводы собственного производства
- система обнаружения человека в опасной зоне с блокировкой движения створок
- самодиагностика и вывод информации на пульт диспетчера
- возможность управления с пульта или смартфона
- размеры ворот и дверей: от 800×2000 мм до 8000×9000 мм



РЕКЛАМА

16+

Вентиляторы типа ВЦ и УВЦГ



- удаляют метановоздушные смеси с содержанием метана до 100%
- возможна комплектация системой автоматизации собственного производства с тепловой и вибрационной защитой
- возможна поставка с переключателем потока, оснащенным лебедкой собственного производства
- дополнительно устанавливаются газоанализаторы и датчики объема и температуры
- регулируемый направляющий аппарат
- типоразмеры вентиляторов: ВЦ-11...15; УВЦГ-7...15

С ЗАБОТОЙ О ЖИЗНИ ГОРНЯКОВ

Нам доверяют партнеры и заказчики



КОЛМАР
УГЛЕДОБЫВАЮЩАЯ КОМПАНИЯ

ПОЛИМЕТАЛЛ

Северсталь

ЕВРАЗ

РУССКАЯ МЕДНАЯ КОМПАНИЯ

HIGHLAND GOLD

ПМХ

ЕвроХим

Наши преимущества

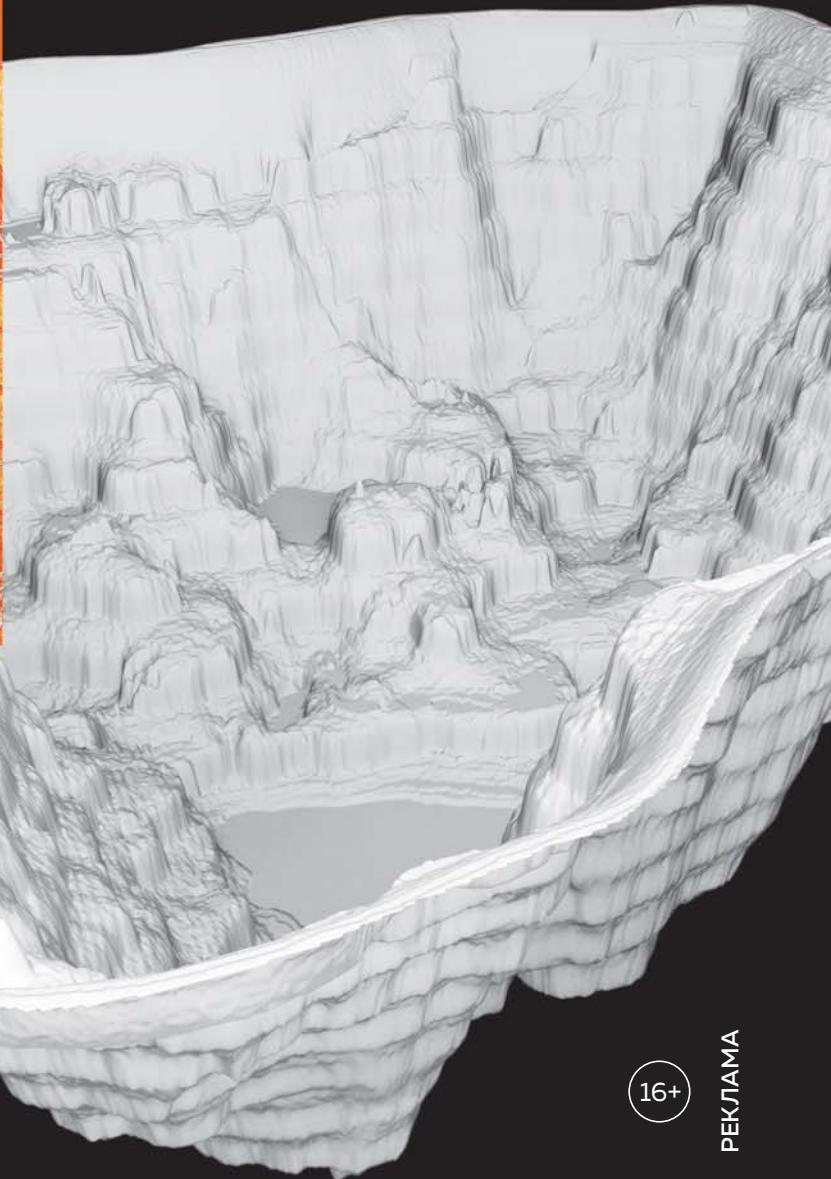
- индивидуальный проект с учетом 30% запаса прочности
- подбор привода с учетом возможности установки
- возможность выбора функционала системы автоматики
- простота и надежность конструкции
- шеф-монтаж и пусконаладка
- электрооборудование исполнения РВ с маркировкой Ex d I Mb
- сертификаты соответствия ТР ТС 012/2011



ООО «Кемеровский машиностроительный завод»

650021, г. Кемерово, ул. Кирзавод 3 Бис, зд.17
тел.: +7(3842)78-09-08 • 594950@bk.ru • www.kemmash.ru





0.003.643.9479

16+

РЕКЛАМА

**ПРЕДСКАЗУЕМЫЙ
ПРОЦЕСС.
УПРАВЛЯЕМЫЙ
РЕЗУЛЬТАТ**

Геотехника как драйвер эффективности: подход «ГЕОСУППОРТ»

В последние годы горнодобывающая отрасль сталкивается с растущими вызовами: увеличением глубины карьеров, усложнением горно-геологических условий, а также повышенными требованиями к промышленной безопасности и устойчивости производства. Эти факторы напрямую влияют не только на безопасность ведения работ, но и на финансовые результаты предприятий. В этих условиях геотехника перестаёт быть исключительно вспомогательной дисциплиной и становится стратегическим фактором, определяющим производственную эффективность и инвестиционную устойчивость проектов.

Традиционно геотехнический мониторинг рассматривался главным образом как инструмент обеспечения безопасности персонала и техники. Сегодня подходы меняются. Исследования доказывают, что грамотно выстроенная система геотехнического сопровождения и круглосуточного мониторинга позволяет не только минимизировать риски аварий и простоев, но и напрямую управлять ключевыми экономическими показателями: снижать совокупные денежные затраты (TCC), повышать предсказуемость добычи, стабилизировать недисконтированный денежный поток (UCF) и, как следствие, увеличивать ROI, NPV и IRR.

Практика показывает, что своевременное выявление зон потенциальной нестабильности снижает вероятность крупных инцидентов, позволяет оптимизировать объёмы вскрышных работ и уменьшить затраты на аварийные укрепления. Для крупных предприятий экономический эффект от такого подхода может исчисляться десятками миллионов рублей ежегодно.

Компания ГЕОСУППОРТ предоставляет партнёрам полный спектр услуг геотехнического сопровождения, охватывающий весь жизненный цикл управления рисками – от анализа исходных данных до внедрения цифровых систем управления состоянием массива и обучения персонала.

Наши ключевые направления

• Консалтинг и обучение

Разработка и внедрение корпоративных стандартов геотехнического сопровождения. Проведение тренингов для инженерных команд и менеджмента. Особый акцент — на интеграции геотехнических данных в процессы планирования добычи и бюджетирования.

• Лаборатория геомеханики DeepMine Lab

Испытания горных пород по ГОСТ, оценка напряжённо-деформированного состояния массива, моделирование устойчивости откосов.

Подготовка методических рекомендаций и адаптация расчётов под специфику каждого месторождения.

- **Геотехнический мониторинг 24/7**
Круглосуточное наблюдение с использованием современных систем. Прогнозирование развития деформаций и оперативное реагирование на изменения в режиме реального времени.
- **Разработка программ мониторинга**
Индивидуальные решения для каждого объекта с учётом горно-геологических условий, масштаба и глубины карьера, технологии добычи и требований инвесторов.
- **Создание геотехнической службы «под ключ»**
Проектирование организационной структуры, подбор персонала, разработка регламентов и запуск эффективной системы взаимодействия между предприятиями и управляющей компанией.

Подход ГЕОСУППОРТ позволяет рассматривать геотехнику не просто как элемент промышленной безопасности, а как инструмент управления инвестиционной привлекательностью бизнеса.

Системный подход к геотехническому мониторингу и управлению устойчивостью откосов обеспечивает:

- **снижение TCC** за счёт оптимизации углов откосов и уменьшения объёмов вскрышных работ;
- **рост ROI и NPV** благодаря предотвращению простоев и повышению стабильности поставок;
- **снижение дисконтирования IRR** за счёт снижения неопределённости и управляемости ключевых рисков;
- **повышение предсказуемости UCF** и устойчивости денежных потоков, что особенно важно для долгосрочных проектов.

Таким образом, геотехника становится неотъемлемой частью операционного и стратегического менеджмента, обеспечивая не только безопасность, но и рост эффективности и устойчивости добывчных проектов.

Компания ГЕОСУППОРТ готова выступить для своих клиентов стратегическим партнёром и технологическим провайдером, предоставляющим полный цикл геотехнического сопровождения. Наш опыт и экспертиза позволяют переводить управление геотехническими рисками из категории затрат в категорию инвестиций, напрямую влияющих на стоимость активов, доверие инвесторов и устойчивое развитие бизнеса.





БИОНОРД[®] КАРЬЕР

СРЕДСТВА ПРОТИВ СМЕРЗАНИЯ И ПЫЛЕНИЯ

16+

РЕКЛАМА

АНТИПЫЛЬ

ТВЕРДЫЙ ПРОТИВОПЫЛЕВОЙ РЕАГЕНТ

ДЕЙСТВИЕ

Бионорд Антипыль связывает мелкие частицы твердой фракции, образуя на поверхности материала прочную ветроустойчивую пленку



Для обеспыливания дорог, горных объектов, добывающих карьеров



В качестве средства для пылеподавления при транспортировке сыпучих и пылящих грузов



В качестве средства для пылеподавления при проведении строительных и ремонтных работ

ВЫГОДЫ

- ❖ **Эффективен** в борьбе с пылением угля, руды и других сыпучих материалов
- ❖ **Снижает** капитальные затраты по ремонту техники и транспорта
- ❖ **Увеличивает** скорость и объемы переработки продукции
- ❖ **Снижает затраты** на хранение и перевалку грузов
- ❖ **Снижает потери** продукции
- ❖ **Снижает** транспортные расходы
- ❖ **Обеспечивает** благоприятные условия труда для персонала
- ❖ **Обладает** полным пакетом разрешительной документации

АНТИСМЕРЗАНИЕ

АНТИСМЕРЗАЮЩИЙ РЕАГЕНТ

ДЕЙСТВИЕ

Обладая низкой температурой замерзания, продукт нейтрализует воздействие холода на груз, вызывая таяние снежных масс вплоть до растворения ледяных кристаллов

КАК ПРИМЕНЯТЬ

Вещество разбрызгивают на сыпучие материалы, стены и дно контейнера, нейтрализуя их способность к слипанию



ВЫГОДЫ

- ❖ **сокращение расходов** за счет отсутствия необходимости «оттаивать» или «дробить» груз
- ❖ **сокращение времени** транспортировки
- ❖ **не вызывает** коррозии, повреждений вагонов, цистерн или кузовов
- ❖ **не меняет** форму и характеристик угля, в том числе и его горючих свойств



сортировочные станции



конвейерные линии и прочие места, где груз добывается, складируется либо транспортируется

шахты



КОГДА ПЫЛЬ — ВРАГ, А МОРОЗ — СОПЕРНИК: ЧЕМ ОТВЕЧАЕТ УЗПМ НА ВЫЗОВЫ ГОРНОДОБЫЧИ

Работа в карьере — это всегда противостояние не только с породой, но и с внешней средой. Пыль поднимается плотным облаком, смерзание превращает сыпучие материалы в неподатливые массы. Для тех, кто отвечает за логистику, безопасность и темпы производства, это не абстракции, а повседневные вызовы, от которых зависит вся цепочка.

Ответ на эти вызовы — не просто реагенты, а технологии, созданные для условий реального производства. Уральский завод противогололедных материалов (УЗПМ) исходит именно из этого принципа. Здесь не гонятся за универсальными решениями, а разрабатывают точные, инженерно выверенные составы. Так появилась линейка **БИОНОРД КАРЬЕРЫ — АНТИПЫЛЬ и АНТИСМЕРЗАНИЕ**, которые на практике избавляют производство от проблем пыления и смерзания.

НА ПОВЕРХНОСТИ — ПЫЛЬ. ВНУТРИ — ИЗНОС И УБЫТКИ

Пыль в горнодобыче — это не просто эстетическая проблема или неудобство для персонала. Это абразивный шлейф, разъедающий технику, загрязняющий продукцию, увеличивающий затраты на обслуживание и создающий угрозу здоровью. Особенно ощутим эффект на участках с интенсивным транспортом — от грунтовых дорог до перегрузочных узлов.

БИОНОРД АНТИПЫЛЬ разработан как активный компонент, эффективность которого *обусловлена свойством состава связывать мелкие частицы пыли в более крупные, не давая им подниматься под воздействием воздушных потоков*. Он не боится ветра, не смывается при первом дожде и не нарушает экологическое равновесие. Ученые УЗПМ сумели добиться того, чтобы состав был эффективным и при этом нейтральным к почве, металлам и растительности — важный фактор для долгосрочной эксплуатации на открытых площадках.

Там, где раньше требовались регулярные повторные обработки и приходилось мириться с износом техники, теперь можно говорить о снижении затрат, уменьшении простоев и росте объемов. Не как рекламный лозунг, а как производственная статистика.

МОРОЗ КУЕТ, РЕАГЕНТ РАСТВОРИЯТ

Если пыль — невидимый враг, то смерзание — враг в полный рост. Уголь, руда, щебень в минус двадцать превращаются в монолит. Раздробить такие массы —

дело не только затратное, но и опасное. Задержки, поврежденные кузова, травмы — всё это последствия того, что в нужный момент не сработала защита.

БИОНОРД АНТИСМЕРЗАНИЕ действует как незаметный, но крайне эффективный агент: он не даёт влаге превращаться в лёд, обволакивает частицы груза, нейтрализуя кристаллизацию. При этом состав не повреждает металл, не меняет свойства угля и не требует специальных условий нанесения. Его просто применяют на стенки вагонов, контейнеры или прямо на сыпучую массу. И всё — груз поехал, не слился, не замёрз, не стал очередным поводом для внеплановой остановки.

Особенно заметен эффект на участках с непрерывным циклом: где важно не просто доставить, а сделать это быстро, безопасно и без «танцев с отбойным молотком».

ИНСТРУМЕНТЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Обе разработки — не лабораторные фантазии, а продукты, отработанные на действующих карьерах и промплощадках. И **АНТИПЫЛЬ**, и **АНТИСМЕРЗАНИЕ** соответствуют действующим стандартам (ГОСТ Р 113.16.01—2020), имеют разрешительную документацию и адаптированы под разные климатические и производственные условия.

Если производственная эффективность — это не абстракция, а ежедневная цель, то стоит признать очевидное: без борьбы с пылью и морозом в горнодобыче ни один механизм не будет работать на полную мощность. А значит, технологии, которые берут эти вызовы на себя, становятся не опцией, а необходимостью.



УЗПМ



www.uzpm.ru



sales@uzpm.ru

Содержание

- 11 Прочный фундамент, заложенный поколениями Рекорды и перспективы развития красноярских предприятий СУЭК-Красноярск**
К. Миронова
- 15 Метан - в электроэнергию. В Распадской стартует проект по газогенерации Интервью с Максимом Сидоровым, первым заместителем генерального директора - техническим директором РУК**
Л.В. Кошелченков, И.В. Клюкина, Е.В. Лапин, О.В. Шестаков
- 20 Вездеход с зауральским характером: ТМ-140 КУРГАНМАШЗАВОД**
О. Степанов
- 22 АО «Коралайна Технологии»: Исследования. Передовые технологии. Современное оборудование**
А.В. Дремин, П.Е. Якушев
- 26 Эффективность и долговечность: Геомембранные «Кредо-Пласт» в горнодобывающей промышленности**
И.Ю. Маслов
- 28 Цифровые решения для измерения скорости детонации ЭВВ**
П.А. Брагин, А.Ю. Бредихин, К.Р. Конюхов, И.Ю. Маслов
- 33 Оценка теплоты взрыва смесей эмульсии с гранулами вспененного полистирола**
Р. Гогов
- 36 Перспективы применения бесселитренных промышленных взрывчатых веществ при разработке минеральных ископаемых в арктической зоне России**
40 Headminer: Наша цель – предоставлять заказчикам лучшие решения для разработки месторождений
Интервью с Андреем Корнеевым, генеральным директором Headminer
- 42 Подходы к внедрению автоматизированных систем управления горными работами и достижение их приживаемости на горнодобывающих предприятиях**
44 ООО «Колыма Минералз»: Вперед к новым целям с надежными партнерами
- 46 Как избежать основных ошибок взрывников при работе с современными технологиями**
Интервью с Сергеем Мозером, генеральным директором «ЭВОБЛАСТ Инжиниринг»
- 48 Экскаватор-труда Shantui SE550LCW: как японская гидравлика Kawasaki и рекордный двигатель Weichai на российском рынке**
52 К 70-летию Сергея Вячеславовича Лукичева
Интервью с директором Горного института КНЦ РАН
- 54 Всероссийская научно-техническая конференция «Цифровые технологии в горном деле»**
56 СТТ Expo – главная выставка строительной техники и технологий России
Итоги 5-й юбилейной конференции «Будущее горной промышленности»
- Оригинальные статьи**
- 61 Цифровые двойники процессов управления высоковоавтоматизированными горнотранспортными комплексами**
В.Н. Кулецкий, С.В. Жунда, П.М. Михайлов, А.В. Галкин
- 72 Организация оперативного управления производственными рисками на Ковдорском ГОКе: обучение линейных руководителей**
Ю.Ю. Головченко, А.Е. Румянцев, В.В. Лалин, М.А. Соннов
- 78 Моделирование тектонических нарушений с применением связей конечной жесткости с интеграцией в CAE Fidesys**
Д.И. Борисенко
- 86 Природоподобные решения некоторых проблем горного производства**
С.С. Кобылкин, Д.А. Федоров, И.И. Кузнецов
- 92 Обновленная классификация аэродинамических сопротивлений горных предприятий**
О.Ю. Козлова, В.В. Агафонов, А.С. Оганесян
- 97 Методологические аспекты проектирования горнотехнических систем с учетом многофункциональности и развития цифровых платформ**
М.Ю. Сулимов
- 104 Цифровая трансформация в горнодобывающем секторе России: особенности и стратегические подходы**
В.И. Голик, А.В. Титова
- 110 Эффективность утилизации отходов добычи и переработки в процессах горного производства**
И.В. Петров, П.С. Щербаченко, А.А. Тихомиров
- 116 Мониторинг индекса деловой репутации субъектов предпринимательской деятельности в отрасли добычи полезных ископаемых**
Р.Н. Сафиуллин, М.С. Присяжнюк, А.С. Парра, Р.Р. Сафиуллин, А.А. Унгебук
- 122 Комплексный подход к построению автоматизированной системы обработки больших данных о перевозочном процессе транспортных средств**
А.М. Балашов
- 130 Использование частичной теплоизоляции камеры сгорания с целью повышения эксплуатационных характеристик дизельных двигателей, применяемых в горнодобывающей промышленности**
В.В. Никифорова, Е.Э. Григорьева, М.П. Соломонов
- 134 Экономико-математическое моделирование добывающей отрасли Республики Саха (Якутия): оценка эффективности использования ресурсов**
Д.Ф. Дабиев, Н.С. Гчиев, И.Е. Отвагина, Ш.В. Хертек
- 140 Возможности и перспективы освоения минерально-сырьевого сектора восточной и южной экономических зон Тувы**
В.А. Плашинский, Е.И. Шешукова, А.Э. Салимов, Д.А. Шибанов, С.Л. Иванов
- 144 Численное моделирование процессакопания ковшом экскаватора методом дискретных элементов**
Л.А. Иванова, Е.С. Михайлова, И.В. Тимощук, А.К. Горелкина, В.П. Иванова
- 151 Выбор флотационной установки в технологии реализации комплексной очистки сточных вод угольных предприятий**
Кайсин Ван, Т.А. Кирияева
- 157 Экспериментально-аналитические основы взаимодействия нелинейных геомеханических и физико-химических массо-газообменных процессов в углепородных массивах**
В.В. Арно, Е.П. Колесниченко, И.Ю. Гарифуллина, Н.Е. Ломакина
- 165 Анализ устойчивости междуэтажных и межкамерных целиков при камерной системе разработки месторождения «Майское»**
С.Г. Гендлер, А.С. Серёгин, П.А. Белехов
- 170 Исследование влияния эксплуатационно- конструкционных характеристик дизельной техники на загазованность подземных горных выработок**
А.В. Зимаков
- 178 Перспективы добычи лития в Португалии в контексте климатической политики Европейского союза**

Contents

- 11 A solid foundation laid by generations**
Records and development prospects for Krasnoyarsk operations of SUEK-Krasnoyarsk
- 15 Methane converted into electricity. A gas generation project is launched at Raspadskaya**
An interview with Maxim Sidorov, First Deputy General Director - Technical Director, Raspadskaya
- K. Mironova
- 18 New Mining Management Company: A digital solution for drilling and blasting operations**
- 20 An all-terrain vehicle with the Trans-Ural character: TM-140 Kurganmashzavod**
- L.V. Koshelchenkov, I.V. Klukina, E.V. Lapin, O.V. Shestakov
- 22 Coralina Technologies JSC: Research. Advanced technologies. Cutting-edge equipment**
- O. Stepanov
- 26 Efficiency and durability: Kredo-Plast geomembranes in mining industry**
- A.V. Dremin, P.E. Yakushev
- 28 Digital solutions to measure the detonation velocity of emulsion explosives**
- I.Yu. Maslov
- 33 Assessment of explosion heat of emulsion mixtures with expanded polystyrene granules**
- P.A. Bragin, A.Yu. Bredikhin, K.R. Konyukhov, I.Yu. Maslov
- 36 Prospects of using nitrate-free industrial explosives when mining minerals in the Arctic zone of the Russian Federation**
- 40 HEADMINER: We are committed to providing our customers with the best solutions to develop their deposits**
- An interview with Andrey Korneyev, Director General*
- R. Gogov
- 42 Approaches to implementation of automated mining control systems and achieving their viability at mining companies**
- 44 Kolyma Minerals LLC: towards new goals with reliable partners**
- 46 How to avoid common mistakes made by blasters when dealing with modern technologies**
- An interview with Sergey Mozer, EVOBLAST*
- 48 The trusty beast Shantui SE550LCW excavator: the way Japanese Kawasaki hydraulics and the record-breaking Weichai in the Russian market**
- 52 In honor of the 70th anniversary of S.V. Lukichev**
An interview with Director of the Mining Institute of the Kola Scientific Centre of the RAS
- 54 VI All-Russian Scientific and Technical Conference with International Participation**
- 56 CTT Expo: the main Trade Fair for Construction Equipment and Technologies**
Results of the 5th Conference «Future of Mining»
- Original papers**
- A.F. Klebanov, I.V. Eremkin, P.A. Gabusu
- 61 Digital twins of control processes for highly automated mining transport complexes**
- V.N. Kuletsky, S.V. Zhunda, P.M. Mikhailov, A.V. Galkin
- 72 Organization of operational management of industrial risks at Kovdorsky GOK JSC: training of line managers**
- Yu.Yu. Golovchenko, A.E. Rumyantsev, V.V. Lalin, M.A. Sonnov
- 78 Modeling of tectonic faults using finite stiffness links with integration in CAE Fidesys**
- D.I. Borisenko
- 86 Nature-like solutions to some mining issues**
- S.S. Kobylkin, D.A. Fedorov, I.I. Kuznetsov
- 92 New classification of mine ventilation resistance**
- 97 Methodological aspects of designing mining engineering systems with account of the versatility and development of digital platforms**
- M.Yu. Sulimov
- 104 Digital transformation in the Russian mining sector: specific features and strategic approaches**
- V.I. Golik, A.V. Titova
- 110 Efficiency of mining and processing waste utilization in mining processes**
- I.V. Petrov, P.S. Shcherbachenko, A.A. Tikhomirov
- 116 Monitoring the business reputation index of enterprises in the mining industry**
- R.N. Safiullin, M.S. Prisyazhnyuk, A.Z. Parra, R.R. Safiullin, A.A. Ungefuk
- 122 An integrated approach to designing an automated processing system for Big Data on the haulage process by transport vehicles**
- A.M. Balashov
- 130 The use of partial thermal insulation of the combustion chamber in order to improve the performance of diesel engines used in the mining industry**
- V.V. Nikiforova, E.E. Grigorieva, M.P. Solomonov
- 134 Economic and mathematical modeling of the mining industry in the Republic of Sakha (Yakutia): assessment of the resource utilization efficiency**
- D.F. Dabiev, N.S. Gichiev, I.E. Ovtagina, S.V. Khertek
- 140 Opportunities and prospects for the development of the mineral resource sector of the eastern and southern economic zones of Tyva**
- V.A. Plaschinsky, E.I. Sheshukova, A.E. Salimov, D.A. Shibanov, S.L. Ivanov
- 144 Numerical simulation of the digging process with an excavator bucket using the discrete element method**
- L.A. Ivanova, E.S. Mikhaylova, I.V. Timoshchuk, A.K. Gorelkina, V.P. Ivanova
- 151 Selection of the flotation unit as part of the technology to implement integrated wastewater treatment at coal mining operations**
- Kaixing Wang, T.A. Kiryaeva
- 157 Experimental and analytical foundations of interaction between non-linear geomechanical and physicochemical mass-gas exchange processes in coal masses**
- V.V. Arno, E.P. Kolesnichenko, I.Yu. Garifulina, N.E. Lomakina
- 165 Analysis of the floor pillars and room fenders stability in the room-and-pillar mining system at the Mayskoye deposit**
- S.G. Gandler, A.S. Seregin, P.A. Belekhov
- 170 Study of the effects of operational and design characteristics of diesel equipment on gas contamination in underground mine workings**
- A.V. Zimakov
- 178 Prospects for lithium mining in Portugal in the context of European Union's climate policy**

Advertising index:

IMC Montan	21
SHANTUI (Техстройконтракт, ООО)	51
Астериас, ООО	91
БЕЛАЗ (Сервис Карьерных Машин, ООО)	45
Гидромашсервис, АО	вклейка
НПК «ГРАНЧ», ООО	31
ЕРТ-Групп, ООО	25
НМЗ «Искра», АО	85
Магаданский механический завод, АО	109
Машиностроительный Холдинг, АО	71
НПК «Механобр-техника», АО	39
МУФТА ПРО, ООО	39
Сервис Модерн Солюшнс, ООО	115
ТД «УЗПМ», ООО	2-3
Флотент Кемикалс Рус, ООО	103

On the cover:

ООО «Кемеровский Машиностроительный Завод»;
АО «ОГК Групп»; ООО «Геосуппорт»; АО «ЭВАБЛАСТ РУС»;
ООО «Карьер-Сервис»

Рецензируемый научно-технический и производственный журнал
«Горная промышленность»

Главный редактор:

Валерий Афонасьевич Язев, д-р экон. наук; профессор, Президент НП «Горнопромышленники России», Председатель Российского национального комитета Мирового нефтяного совета, Москва, Российской Федерации

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Артемьев Владимир Борисович, председатель Редакционного совета, заместитель Генерального директора – директору по производственным операциям ООО «Горнорудная компания «ЕВРОХИМ», д-р техн. наук, Москва, РФ

Пивень Геннадий Федорович, заместитель председателя Редакционного совета, Президент Российской Академии горных наук, д-р техн. наук, Москва, РФ

Трубецкой Климент Николаевич, главный научный сотрудник ИПКОН РАН, академик РАН, д-р техн. наук, Москва, РФ

Иванов Михаил Игоревич, Заместитель Министра промышленности и торговли Российской Федерации, Москва, РФ

Бортников Николай Степанович, Научный руководитель Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, академик РАН, Москва, РФ

Захаров Валерий Николаевич, Научный руководитель ИПКОН РАН, академик РАН, д-р техн. наук, Москва, РФ

Осипов Виктор Иванович, Научный руководитель Института геоэкологии им. А.Е. Сергеева РАН, академик РАН, Москва, РФ

Нигматулин Роберт Искандерович, Научный руководитель ИО РАН имени П.П. Ширшова, академик РАН, Москва, РФ

Баряж Александр Абрамович, Директор Пермского федеральный исследовательский центра УроРАН, академик РАН, Пермь, РФ

Будзуляк Богдан Владимирович, Президент НП «Саморегулируемая организация Объединение строителей газового и нефтяного комплексов», проф., д-р техн. наук, Москва, РФ

Исмагилов Ринат Иршатович, Директор горного дивизиона ООО УК «МЕТАЛЛОИНВЕСТ», Москва, РФ

Парамонов Сергей Викторович, Первый заместитель директора АО «УК «Кузбассразрезуголь», Кемерово, РФ

Мильтенко Николай Васильевич, советник генерального директора Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского, научный секретарь Научно-технического совета Минприроды России, д-р геол.-минерал. наук, Москва, РФ

Машковцев Григорий Анатольевич, ФГБУ «ВИМС», д-р геол.-минерал. наук, профессор, Москва, РФ

Анистратов Константин Юрьевич, Главный научный сотрудник Горный институт Кольского научного центра РАН, д-р техн. наук, г. Апатиты Мурманской обл., РФ

Владимиров Дмитрий Ярославович, канд. техн. наук, Группа компаний «Цифра», заместитель генерального директора по работе с горной промышленностью и органами власти, Москва, РФ

Дмитриевский Анатолий Николаевич, Академик РАН, д-р геол.-минерал. наук, профессор, научный руководитель института ИПНГ РАН, Москва, РФ

Зелинская Елена Валентиновна, д-р техн. наук, профессор кафедры «Обогащение полезных ископаемых и охрана окружающей среды им. С.Б. Леонова» Институт недропользования ИРНИТУ, г. Иркутск, РФ

Зырянов Игорь Владимирович, д-р техн. наук, профессор, Политехнический институт (филиал) СВФУ в г. Мирном, Республика Саха (Якутия), РФ

Кириченко Юрий Васильевич, д-р техн. наук; профессор, Горный институт НИТУ МИСИС, Москва, РФ

Клебанов Алексей Феликсович, канд. техн. наук, директор по науке и работе с образовательными учреждениями, Группа компаний «Цифра», Москва, РФ

Клишин Владимир Иванович, чл.-корр. РАН; д-р техн. наук; профессор, г. Кемерово, РФ

Колесниченко Игорь Евгеньевич, д-р техн. наук; профессор, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Шахты, РФ

Корнилов Сергей Викторович, д-р техн. наук; профессор, Институт горного дела Уральского отделения РАН, Екатеринбург, РФ

Крюков Валерий Анатольевич, д-р экон. наук; профессор, академик РАН, директор ФГБУН «Институт экономики и организации промышленного производства Сибирского Отделения РАН», Новосибирск, РФ

Лукичев Сергей Вячеславович, д-р техн. наук, профессор, Горный институт Кольского научного центра РАН, РФ, г. Апатиты, РФ

Орехова Наталья Николаевна, д-р техн. наук, профессор каф. ГМД и ОПИ ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, РФ

Плакиткин Юрий Анатольевич, д-р экон. наук; профессор, Институт энергетических исследований Российской академии наук (ИНЭИ РАН), Заместитель директора по научной работе, Москва, РФ

Рожков Анатолий Алексеевич, д-р экон. наук; профессор, директор по науке АО «Росинформуголь», Москва, РФ

Рыльников Марина Владимировна, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник ИПКОН РАН, Москва, РФ

Соннов Максим Александрович, заместитель генерального директора ООО «ФИДЕСИС» (Научный парк МГУ), Москва, РФ

Титова Ася Владимировна, д-р техн. наук, профессор, ФГБУН «Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского Российской академии наук», Заместитель директора по развитию, Москва, РФ

Шадрунова Ирина Владимировна, д-р техн. наук, зав. отделом горной экологии, ИПКОН РАН, Москва, РФ

Великанов Владимир Семенович, д-р техн. наук, профессор кафедры подъемно-транспортных машин и роботов, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, РФ

Карстен Дребенштедт, профессор, Заведующий Кафедры открытых горных работ, Технический университет «Фрайбергская горная академия», Фрайберг, Германия

Го Лицзе, д-р техн. наук, профессор, заместитель директора, Пекинский институт горного дела и металлургии, Научно-исследовательский институт горного дела, Международная исследовательская группа по направлению «Зеленое горное дело», Пекин, Китай

Б. Бат-Очир, профессор, Ассоциация Горных Проектировщиков Монголии, Исполнительный Директор, Улан-Батор, Монголия

Рыспанов Нурлан Бектасович, Президент Национальной Академии Горных Наук Республики Казахстан, Президент Горнопромышленного союза Казахстана, д-р техн. наук, Республика Казахстан

Галиев Сейтгали Жолдасович, д-р техн. наук, профессор, чл.-корр. НАН РК, академик НАГН РК, ТОО «Научно-исследовательский технический центр Евразийской Группы» (ERG), директор горного подразделения, Республика Казахстан

Журнал зарегистрирован 09.10.2019 г. Роскомнадзором реестровая запись ПИ № ФС77-76915

Издатель и учредитель: ООО Научно-Производственная компания «Гемос Лимитед»

Адрес: 119049, г. Москва, проспект Ленинский, д. 6 стр. 3 этаж 5, ком. 24.

ISSN 1609-9192 (print); 2587-9138 (online)

Адрес редакции: 119049, Москва, Ленинский проспект, д. 2А, офис 728. Телефон редакции: +7 (499) 237-03-11;

e-mail: info@mining-media.ru, сайт: <https://mining-media.ru>

Тираж 5000 экз.

Подписной индекс 72557 по каталогу «Почта России». Цена свободная.

Над выпуском работали:

Е.В. Анистратова, Г.А. Демина, Л.В. Павлова, Л.А. Горочкина, А.А. Раизин, Н.В. Матвиевская, Е.В. Никитина.

Отпечатано в типографии ООО «Роликс».

Адрес: 117105, Москва, Нагорный пр., д. 7, стр. 5. Телефон: +7 (495) 661-46-22

Дата выхода в свет: 28.08.2025

16+

Russian Mining Industry Journal

is a peer-reviewed scientific and technical journal

Chief Editor:

Valeriy A. Yazev, Doctor of Sciences (Economics), Professor, President of the Non-profit Partnership for Mining Industries, Chairman of the Russian National Committee of the World Petroleum Council, Moscow, Russian Federation

EDITORIAL BOARD:

Vladimir B. Artemyev, Chairperson of the Editorial Board, Doctor of Technical Sciences, Deputy General Director – Director of Production Operations, EuroChem Mining Company, Moscow, Russia

Gennady F. Piven, Deputy Chairperson of the Editorial Board, President of the Russian Academy of Mining Sciences, Dr. Sci. (Eng.), Moscow, Russia

Kliment N. Trubetskoy, Chief Scientific Officer, Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources (IPKON) of RAS, Academician of RAS, Moscow, Russia

Mikhail I. Ivanov, Deputy Minister, Ministry of Industry and Trade of the Russia, Russia

Nikolay S. Bortnikov, Head of Research, Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of RAS (IGEM RAS), Academician of RAS, Moscow, Russia

Valeriy N. Zakharov, Head of Research, Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources (IPKON), Academician of RAS, Moscow, Russia

Victor I. Osipov, Head of Research, Sergeev Institute of Environmental Geoscience of RAS (IEG RAS) Academician of RAS, Moscow, Russia

Robert I. Nigmatulin, Head of Research, Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Academician of RAS, Moscow, Russia

Alexander A. Baryakh, Director, Perm Federal Research Centre of Ural Branch of the RAS, Academician of the RAS, Perm, Russia

Bogdan V. Budzulyak, President, Noncommercial partnership «Self-Regulated Organization Association of Gas and Oil Complex Builders», Doctor of Engineering, Moscow, Russia

Rinal I. Ismagilov, Director of the Mining Division, «Metalloinvest Management Company», LLC, Russia

Sergey V. Paramonov, Director of 'UK Kuzbasrarezugol' JSC, Kemerovo

Nikolay V. Militenko, General Director's Advisor, A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, Scientific Secretary of the Scientific and Technical Council of the Ministry of Natural Resources, Doctor of Mining and Metallurgical Sciences, Moscow, Russia

Grigoriy A. Mashkovtsev, Director General, Federal State Budgetary Institution «All-Russian Scientific-research Institute of Mineral Resources named after N.M.Fedorovsky» (FSBI VIMS), Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Moscow, Russia

Konstantin Yu. Anistratov, Chief Researcher, Mining Institute KRC of the RAS, Doctor of Engineering, Apatity, Russia

Dmitriy Ya. Vladimirov, Cand. of Sciences in Technology, Deputy General Director for work with the mining industry and government, Zyfra Group, Moscow, Russia

Anatoly N. Dmitrievsky, academician of the RAS, Doctor of geol.-miner. sciences, Professor; Scientific Director of the Institute of oil and gas, Moscow, Russia

Elena V. Zelinskaya, Doctor of Engineering, Professor of the Mineral Processing and Environmental Department named S. B. Leonov, Institute of Subsoil Use, IRNITU, Irkutsk, Russia

Igor V. Zyrjanov, Doctor of Engineering, Professor, Mirny Polytechnic Institute (branch) of North-Eastern Federal University, Mirny, Republic of Sakha (Yakutia), Russia

Yuriy V. Kirichenko, Doctor of Engineering, Professor; Mining Institute of the MISiS National Research Technological University, Moscow, Russia

Alexey F. Klebanov, Candidate of Technical Sciences, Director for Research and Relations with Educational Institutions, Zyfra Group, Moscow, Russia

Vladimir I. Klishin, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences; Doctor of Engineering, Professor, Kemerovo, Russia

Igor Ye. Kolesnichenko, Doctor of Engineering, Professor; Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Shakhty, Russia

Sergey V. Kornilkov, Doctor of Engineering, Professor; Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

Valeriy A. Kryukov, Academician, Doctor of Sciences (Economics), Prof., The Institute of Economics and Industrial Engineering, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Sergey V. Lukichev, Doctor of Engineering, Professor; Mining Institute of the Kola Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Director, Apatity, Russia

Nataliya N. Orekhova, Doctor of Engineering, Professor; Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Magnitogorsk, Russia

Yuriy A. Plakitin, Doctor of Science, Economics, Professor; The Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Science, Moscow, Russia

Anatoliy A. Rozhkov, Doctor of Science, Economics, Professor; Director for Science of JSC «Rosinformugol», Moscow, Russia

Marina V. Rylnikova, Doctor of Engineering, Professor, Chief Scientific Officer; IPKON of RAS, Moscow, Russia

Irina V. Shadrunkova, Doctor of Engineering, Chair of Mining Ecology Department; IPKON of RAS, Moscow, Russia

Maksim A. Sonnov, Deputy General Director of FIDESYS LLC (Lomonosov Moscow State University Science Park), Moscow, Russia

Asya V. Titova, Doctor of Engineering, Professor; Vernadskiy State Geological Museum of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Development, Moscow, Russia

Vladimir S. Velikanov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Hoisting and Hauling Machines and Robots, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

Carsten Drebendstedt, professor, Chair Surface Mining of the Freiberg University of Mining and Technology (Technische Universität Bergakademie Freiberg, TUBAF), Freiberg, Germany

Guo Lijie, Deputy Director, Professor, Ph.D., Beijing Institute of Mining and Metallurgy Research Institute of Mining Engineering, International Research Group on Green Mining Engineering field, Beijing, China

B. Bat-Ochir, Professor, Executive Director, Mining Designers association of Mongolia, Ulaanbaatar, Mongolia

Nurlan B. Ryspanov, President, National Academy of Mining Sciences of Kazakhstan; President, Mining Union of Kazakhstan, Doctor of Engineering, Kazakhstan

Seitgali Galiev, Director of the Mining Department ERG «Research and Development Engineering Center», Kazakhstan

ISSN 1609-9192 (print)
2587-9138 (online)

16+

Published by: Scientific & Industrial company
"Gemos Limited", LLC

Editorial

Director General,
Publisher

Elena V. Anistratova
eanistratova@mining-media.ru

web-site: <https://mining-media.ru>

Deputy Chief Editor

Aleksey A. Raizin
at@mining-media.ru

Adress: Leninskiy Prospect, 2a, office 728,
Moscow, Russian Federation, 119049

Managing Editor

Galina A. Demina
info@mining-media.ru

e-mail: info@mining-media.ru

Advertise

Nataliya V. Matviyevskaya
pr@mining-media.ru

Phone: +7 (499) 237-03-11

Events

Elena V. Nikitina
event@mining-media.ru

Printing House: Roliks, Moscow

Design, layout

Larisa V. Pavlova

+7 (495) 661-46-22

Subscription: the magazine is distributed by
subscription and free of charge.

Appearance: 28.08.2025



АССОЦИАЦИЯ «НП «ГОРНОПРОМЫШЛЕННИКИ РОССИИ»



В.А. Язев,
Президент Ассоциации
«НП «Горнпромышенники
России»,
главный редактор журнала
«Горная промышленность»

Уважаемые коллеги, дорогие друзья!

От всей души поздравляю вас с Днём шахтёра!

Во все времена шахтерский труд был одним из самых почетных и уважаемых, ведь именно благодаря вашему труду страна получает столь необходимое топливо и ресурсы, обеспечивающие её развитие и процветание.

В этом году мы отметили 80-летие Великой Победы. В тяжелые годы Великой Отечественной войны перед угольной промышленностью была поставлена сверхзадача в максимально короткие сроки обеспечить добычу угля за счет ускоренного развития угледобычи в восточных регионах, т.к. оккупация Донецкого и Подмосковного угольных бассейнов привела к потере более 60% действующих мощностей по добыче угля. Повышение производительности труда и строительство новых шахт позволили уже в 1941 году увеличить добычу угля по сравнению с 1940 годом, были освоены новые участки в Кузбассе – Байдаевский и Абашевский. Наряду с освоением новых угольных месторождений сразу после освобождения Подмосковного и Донецкого бассейнов началось восстановление разрушенных угольных предприятий, шахтерских городов и поселков. К концу 1944 года добыча удвоилась по сравнению с довоенным временем. В первые после победы годы, в 1947 году, был учрежден профессиональный праздник для угледобытчиков – День шахтёра. Престиж шахтерской профессии в стране стал чрезвычайно высок.

Сегодня угольная отрасль переживает острейший кризис со времен 1990-х годов, но несмотря на сложную ситуацию продолжает обеспечивать энергетическую безопасность России. Правительством РФ принято постановление об оказании дополнительной финансовой поддержки предприятиям угольной промышленности, которая поможет сохранить стабильность и продолжить развитие в сложной для отрасли экономической обстановке.

Спасибо за ваш нелёгкий труд, вашу самоотверженность и верность профессии!

Желаю вам крепкого здоровья, благополучия вашим семьям, успехов во всех начинаниях и стабильной удачи в работе. Пусть ваша жизнь будет наполнена радостью, счастьем и достатком, а ваше дело приносит удовлетворение и уважение окружающих.



Администрация Правительства Кузбасса



И.В. Середюк,
Губернатор Кузбасса

**Уважаемые работники и ветераны
угольной отрасли!
Поздравляю вас с Днем шахтёра!**

Последнее воскресенье августа для этого профессионального праздника было выбрано не случайно: именно в конце августа 1935 года легендарный Алексей Стаханов установил мировой рекорд добычи угля. В этом году исполняется 90 лет с начала массового стахановского движения.

Для Кузбасса угольная отрасль продолжает оставаться ключевым сектором региональной экономики. Здесь трудятся более 100 тысяч человек, которые добывают почти половину всего объема «черного золота» в России, включая 65% особо ценных коксующихся марок.

Несмотря на кризис угольная промышленность продолжает обеспечивать энергетическую безопасность и поддержку металлургии, машиностроения, химического производства, способствует развитию социальной сферы и улучшению качества жизни людей. Ведется модернизация, осваиваются перспективные месторождения, внедряются цифровые технологии в процессы добычи, переработки и транспортировки. Предприятия заботятся о своих сотрудниках, направляют средства в развитие муниципалитетов, на территории которых работают.

Важно продолжить поиск инновационных решений по совершенствованию технологий, глубокой переработке угля, восстановлению нарушенных земель. Это позволит нам увереннее отвечать на новые вызовы времени и бережнее относиться к окружающей среде.

Искренне благодарю всех тружеников отрасли за высокий профессионализм и значимый вклад в промышленное развитие России. Особая признательность – ветеранам отрасли, которые не просто сохранили лучшие традиции шахтерского братства, стали образцом взаимовыручки и ответственности, но и воспитали себе достойную смену.

Желаю всем крепкого здоровья, благополучия, душевного тепла и поддержки со стороны друзей и близких. Пусть каждый новый день приносит вам уверенность в своих силах и радость от достигнутых успехов.

С праздником!



**Евгений Евтушенко,
генеральный директор
АО «СУЭК-Красноярск»**

Уважаемые коллеги и ветераны угольной отрасли!

От всей души поздравляю вас с нашим профессиональным праздником – Днем шахтера!

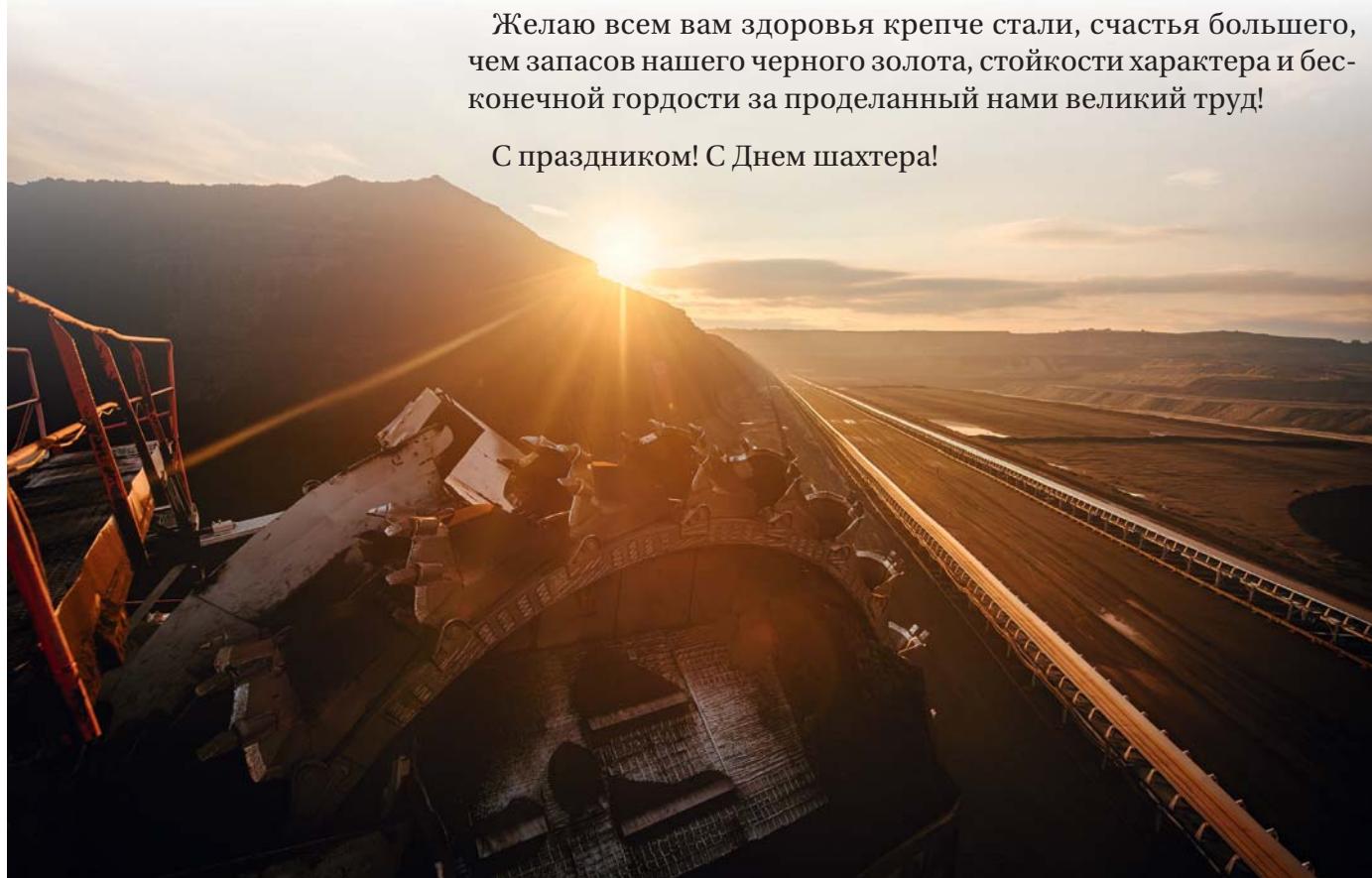
Наша ежедневная работа влияет на жизнь каждой семьи, каждого города, каждого уголка нашей огромной Родины. Благодаря самоотверженности, силе духа, преданности делу и профессионализму горняков и шахтеров уютными становятся дома, работают учреждения социальной инфраструктуры, промышленные предприятия, помогающие развивать наши регионы.

Каждый раз, отправляясь на рабочие смены, мыносим людям тепло и свет, энергию для прогресса, уверенность в завтрашнем дне. Поэтому наша профессия – самая значимая и почитаемая. Горняки, шахтеры обладают особым характером – твердым, сильным, закаленным трудом. Эти качества воспитаны поколениями наших предшественников, прославивших профессию своими делами и трудовыми победами.

Я хочу поблагодарить каждого из вас за то, что даже в самые сложные моменты вы остаетесь сплоченными, готовыми прийти друг другу на помощь, за вашу преданность выбранному делу. Пусть профессиональный праздник станет поводом еще раз вспомнить о шахтерских трудовых подвигах во время Великой Отечественной войны, о славных шахтерских традициях, а главное, ощутить единство коллективов. Пусть энергия трудовых свершений вдохновляет молодежь продолжать славные дела отцов и дедов!

Желаю всем вам здоровья крепче стали, счастья большего, чем запасов нашего черного золота, стойкости характера и бесконечной гордости за проделанный нами великий труд!

С праздником! С Днем шахтера!



Прочный фундамент, заложенный поколениями

Рекорды и перспективы развития
красноярских предприятий СУЭК-Красноярск

Предприятия СУЭК-Красноярск
к профессиональному празднику подходят
с новыми рекордами и оптимистичными
планами. В июне угольная компания преодолела
исторический рубеж – тремя угольными
разрезами отгружена двухмиллиардная тонна
бурого энергетического угля.
Бородинский, Назаровский и Березовский
разрезы показали впечатляющий результат,
превзойдя собственные прежние достижения
и установив новую высокую планку для всей
угольной отрасли России.

«От первых землянок до звездных дорог...»

К двухмиллиардному рекорду угольщики шли более 75 лет. Первymi в эксплуатацию были введены Бородинский и Назаровский разрезы. В невероятно сложных условиях фронтовики Великой Отечественной войны строили угледобывающие предприятия: не жалея себя, выполняли поставленную задачу – в кратчайшие сроки дать угля восстанавливающейся после военного лихолетья промышленности. Закаленные в боях, наученные не сдаваться и не отступать, первостроители справились: в декабре 1949 г. был подписан акт о вводе в эксплуатацию Ирша-Бородинского разреза с производственной мощностью в 1 млн т угля в год. А спустя два года, в 1951-м в строй встал Назаровский разрез.

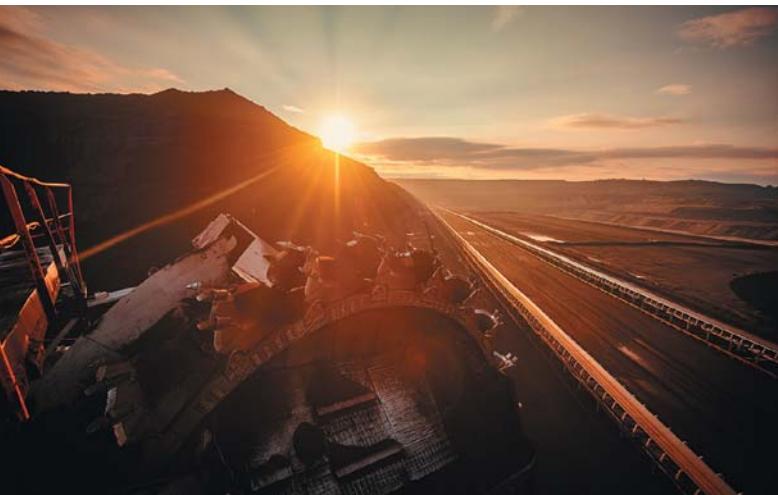
«Первостроители предприятий были люди невероятной силы духа, понимающие, какая на них лежит ответственность, – отметил на торжественной церемонии отгрузки 2-миллиардной тонны почетный ветеран угольной отрасли, бывший генераль-

ный директор Красноярской угольной компании, Герой Социалистического труда, Заслуженный шахтер Российской Федерации Виктор Александрович Гуськов. – Уголь был жизненно необходим стране. На западе всю промышленную инфраструктуру фашисты практически уничтожили: затопили шахты и выработки. Решения нужно было принимать быстро и также быстро воплощать их в жизнь. Разрезы строили титаническими усилиями, при дефиците тяжелой техники, с поиском нестандартных вариантов. Но предприятия были сданы в срок».

А в 1975-м родился третий угледобывающий богатырь – Березовский разрез, который стал ключевым объектом Канско-Ачинского топливно-энергетического комплекса, последней Всесоюзной стройки.

Сегодня три угледобывающих предприятия входят в состав АО «СУЭК-Красноярск» – крупнейшего поставщика энергетического угля в Сибири. В связке с ними работают сервисные предприятия: 60-летний юбиляр – Бородинское погрузоч-





но-транспортное управление, осуществляющее транспортировку вскрышных пород и угля, два ремонтно-механических завода, обслуживающих горную технику и успешно реализующих программу импортозамещения.

На страже энергетической безопасности

Каждое из предприятий вносит значимый вклад в развитие региона и страны в целом. Так, Бородинский разрез по праву называют угольной жемчужиной, флагманом российской угледобычи, единственным в стране разрезом-«миллиардером», где добыли свыше 1 млрд 200 млн т бурого угля. Ежегодно здесь выдают на-гора до 25 млн т твердого топлива, обладающего уникальными характеристиками. «Уголь, добываемый на Бородинском разрезе, по всем мировым стандартам можно отнести к эко-углю, – рассказывает генеральный директор АО «СУЭК-Красноярск» Евгений Евтушенко. – Здесь крайне низкое, всего 0,2% содержание серы, а зольность составляет всего 7%. При этом уголь обладает высокой калорийностью – свыше 4000 Ккал/кг. Твердое топливо из Бородино используют все ТЭЦ Красноярска, а также промышленные предприятия и ЖКХ края и других регионов Сибири и Дальнего Востока. Горняки говорят, что в угле законсервирована энергия солнца, так и есть: уголь был и остается надежным источником тепла и света. И учитывая возросший за последние годы спрос, связанный с ростом промышленного сегмента, возобновляемых источников энергии недостаточно для выработки необходимого количества электрической и тепловой энергии, поэтому у угольной отрасли есть будущее. К тому же сегодня уже известны и активно применяются способы сжигания бурого угля с минимальным воздействием на окружающую среду».

Кроме этого, в СУЭК-Красноярск проделана большая работа, направленная на расширение возможностей использования бурого угля. 20 лет назад в компании начали реализовывать масштабный инвестпроект по переработке угля, на базе Березовского разреза освоили выпуск полукокса. В 2013 г. угольщики начали производить из него брикетированное топливо для металлургии, а в 2017-м – брикеты для ЖКХ (бездымное топливо). В 2020 г. опытно-промышленную линию сменил комплекс по глубокой переработке бурого угля. Сегодня, кроме топливных брикетов здесь производят футеровочный материал для алюминиевой промышленности, сорбент для нефтепереработки водочистки, – в год на Березовском разрезе выпускают 30 тыс. т инновационной продукции. В конце 2025 г. на территории предприятия планируют запустить вторую очередь комплекса и расширить номенклатуру выпускаемых изделий.

Березовский разрез, который в этом году празднует свое 50-летие, по праву называют пионером глубокой переработки.

В последние годы предприятие стало в том числе лидером по приросту добычи. В 2022 г. здесь стремительно увеличили добычу с 5 до 7,5 млн т и продолжают держать эту планку. Что-то направляется на глубокую переработку, но большая часть угля Березовского разреза поставляется на одноименную ГРЭС, с которой они связаны конвейерной галереей длиной в 15 км – самой длинной в России. Всего за 80 мин уголь прямо из забоя, от мощного ЭРШРД-5250, попадает на склады ГРЭС. Всего же с 1975 г. на Березовском разрезе добыли 309 млн т черного золота.

Еще один надежный поставщик угля на нужды энергетики страны – Назаровский разрез, также работающий в комплексе с одноименной ГРЭС. Станция обеспечивает теплом город Назарово и поставляет электроэнергию в объединенную энергосистему России. Ежегодно на Назаровском разрезе добывают порядка 3,5 млн т угля, а с 1951 г. горняки предприятия отгрузили почти полмиллиарда тонн.

Развитие и рост производственных мощностей обеспечивают регулярные значительные инвестиции. За последние годы порядка 11 млрд рублей компания направила на модернизацию горнотранспортной техники, обновление парка вспомогательного оборудования и мероприятия по реконструкции и развитию горных работ. Например, сегодня на Бородинском разрезе продолжается масштабная реконструкция горных работ, направленная на повышение эффективности работы предприятия, в связи с продвижением горных работ. На новое место уже перенесли пост «Восточно-обменный», где идет распределение железнодорожных составов по путям восточного крыла угольного разреза. Также продолжается строительство тоннельной развязки, позволяющей перенаправить потоки вскрышных пород, которые сегодня принимают в отвалы в восточной части, в выработанное пространство основного поля угольного разреза, при этом не препятствуя круглосуточному движению составов с углем. Реконструкция восточного крыла разреза обеспечит равномернее распределение нагрузки на основное оборудование, ритмичную работу железнодорожного транспорта, что очень важно для бесперебойных поставок топлива потребителям.

За каждой добытой тонной на предприятиях СУЭК-Красноярск стоят сплоченные коллективы: 5,5 тыс. человек, профессионалы своего дела – самое дорогое, что есть у компании. В круглосуточном режиме, в любую погоду горняки, железнодорожники и заводчане стоят на страже энергетической безопасности Красноярского края и страны. «В новейшей истории не было ни одного случая, когда даже в самые лютые морозы в котельных и на станциях не было бы угля. В прошлом году мы направили потребителям 36 млн т топлива, а нынче планируем нарастить объемы еще на 1 млн, – делится планами гене-



ральный директор АО «СУЭК-Красноярск» Евгений Евтушенко. – Сотрудники получают конкурентную заработную плату, которая за последние 5 лет выросла более чем на 70%, пользуются обширным социальным пакетом, имеют возможность не только трудиться в комфортных и безопасных условиях, но и получать качественную медицинскую помощь, бесплатно оздоравливаться в ведомственном санатории-профилактории, оснащенном по последнему слову, заниматься спортом в тренажерных залах, отдыхать с семьями в санаториях страны, при необходимости обучаться за счет предприятия, получать среднее и высшее образование. Мы даем людям уверенность в завтрашнем дне, потому что 2 миллиарда – это еще не предел!»

Юбилейную тонну угольщики СУЭК-Красноярск в торжественной обстановке отгрузили 24 июня 2025 г.

Симфония угля в 2 млрд тонн

Именно так звучала основная тема торжественной церемонии отгрузки. Классическая музыка, классическое топливо, традиции, профессионализм – работа угольного разреза во многом похожа на симфонический оркестр, где даже без одного инструмента невозможно создать полноценную мелодию, а если кто-то выходит из строя или сбивает ритм – это отражается на всей композиции. Специально к праздничному событию на Березовском разрезе на фоне мощных угольных пластов музыканты Хакасской республиканской филармонии имени В.Г. Чаптыкова вместе с солистом Красноярского театра оперы и балета имени Дмитрия Хворостовского Андреем Силенко исполнили гимн угольной компании. Под него передовики производства отгружали потребителям юбилейную тонну угля. Почетное право погрузки было предоставлено самым заслуженным машинистам экскаваторов и тепловозов, посвятившим угледобыче не один десяток лет. «Угольная симфония для меня – это звук погрузки, звук работы экскаватора, – признается Заслуженный шахтер Российской Федерации, полный кавалер знака «Шахтерская слава», машинист экскаватора Бородинского разреза Игорь Иванов. – Если машина «поет» – поют душа и все предприятие!»

Историческое событие проходило в формате телемоста, который объединил Назаровский, Березовский и Бородинский разрезы. На мероприятии в угольных разрезах присутствовали почетные гости: сотрудники, передовики производства, ветераны угольной отрасли, подрастающее поколение из профкоманд ФМ, представители местных и краевых властей.

«Рекордный объем добычи стал зрымым показателем огромного вклада, который шахтеры и горняки Сибири внесли в развитие современной России. Как и в сложный послевоенный период восстановления страны, так и сегодня, в год 80-летия

Великой Победы, уголь остается заметным и важным участником всех изменений к лучшему, происходящих в нашей жизни», – уверен генеральный директор компании Александр Редькин.

Достижение показателя в два миллиарда тонн угля символизирует важные изменения в российском угольном производстве. Новые технологии, высококвалифицированные кадры и постоянный контроль качества позволяют поддерживать устойчивое развитие отрасли, гарантируя надежность поставок и удовлетворение растущих потребностей рынка.

«Современной Сибири не было бы без угольной энергетики, не было бы промышленной мощи гигантов, не было бы экономического наследия, не было бы основы сегодняшнего благополучия, – уверен председатель комитета по экономике и налоговой политике Законодательного Собрания Красноярского края Егор Васильев. – Угольная энергетика и сейчас – фундамент стабильности энергетической сверхдержавы, та основа, поверх которой строятся новые достижения и технологии. Но и сама она, вопреки расхожему мнению – перспективная и передовая отрасль. Будущее за глубокой переработкой, экологичной и эффективной технологией использования угля, будущее за новыми поколениями российских горняков и энергетиков».

«Угольные разрезы нашего края работают как часы, как часть большого механизма, находящегося в непрерывной связке с энергопредприятиями СГК, благодаря чему миллионы жителей нашего края обеспечены тем, без чего нам сегодня было бы невозможно жить, – теплом, светом, горячей водой, – подчеркнул значимость работы угольщиков Министр промышленности и торговли Красноярского края Максим Ермаков. – От лица губернатора и Правительства Красноярского края, от себя лично желаю достигать еще больших успехов, трудиться также четко и слаженно, как это происходит сегодня. Спасибо за ваш труд, за вклад в экономику Красноярского края и страны!»

В СУЭК-Красноярск уверены – значимый рекорд станет отправной точкой для нового этапа в жизни компании. «Я выражаю искреннюю благодарность руководителям и сотрудникам всех подразделений компании, рабочим бригадам, инженерам, механикам, ветеранам производства, чьи опыт и знания заложили фундамент успеха и позволяют двигаться вперёд. Спасибо за вашу верность делу, профессиональное мастерство и упорство! – поздравил участников мероприятия генеральный директор АО «СУЭК-Красноярск» Евгений Евтушенко. – Мы продолжим идти дальше, развиваться, внедрять новейшие технологии и повышать эффективность труда ради всеобщего процветания и достойного будущего. Вперёд, к новым рекордам и победам!»



Владимир Мельниченко,
генеральный директор
Распадской угольной
компании

**Уважаемые горняки и ветераны
угольной отрасли!**

**От имени коллектива Распадской угольной
компании и от себя лично поздравляю вас
с Днем шахтера!**

Для кузбассовцев эта дата стоит особняком в череде профессиональных праздников. Это день неподдельной гордости – за наш богатый углем край, мужественных людей и крепкие шахтерские традиции, которые мы с вами продолжаем.

Горняцкий труд – особенный, он для сильных духом. И я благодарю всех, кто выбрал этот нелегкий, но интересный путь. Вы, как никто, знаете, сколько усилий вложено в каждую добывшую тонну угля. В нашей работе много самых разнообразных задач, но именно преодоление трудностей закаляет характер и укрепляет шахтерское братство.

Кузбасс по праву называют угольным сердцем России, ведь угледобывающая отрасль – основа экономики нашего региона. Так пусть это сердце всегда бьется ровно, стablyно и надежно, а труд шахтера неизменно остается в почете.

Спасибо вам за профессионализм, самоотдачу и преданность своему делу. Желаю вам безопасной работы, новых производственных достижений и уверенности в будущем. Пусть всегда и во всем вам сопутствует шахтерская удача! Крепкого здоровья, счастья и благополучия вам и вашим семьям!



Метан – в электроэнергию.

В Распадской стартует проект по газогенерации



Одна из ключевых целей

Распадской угольной компании (РУК) – минимизировать воздействие угледобычи на окружающую среду. С 2021 г. на шахтах компании утилизируют метан. Теперь горняки переходят на новый этап – планируют использовать его для собственных нужд, перерабатывая в электроэнергию.

Почему это важно для экологии и самих угольщиков, рассказал первый заместитель генерального директора – технический директор РУК Максим Сидоров.

О том, чтобы превращать метан в тепловую и электрическую энергию, в Распадской угольной компании говорили давно. Как сегодня выглядит проект по газогенерации и какие предприятия включаются в него первыми?

– С 2021 г. с помощью современных факельных установок мы успешно утилизируем метан. Оборудование работает на шахтах «Усковская», «Алардинская», «Ерунаковская-VIII», а также на шахте «Распадская», где мы первыми в России ввели в эксплуатацию отечественную установку. Этот шаг помог компании существенно снизить объем выбросов метана в атмосферу. Но мы понимаем, что просто сжигать метан и не использовать

его, было бы неправильно. Прежде чем запустить проект газогенерации на наших предприятиях, мы изучили опыт нескольких компаний из КНР. В итоге нашли оптимальное техническое решение. Первыми к проекту подключаются две шахты – «Распадская» и «Ерунаковская-VIII».

Утилизация и переработка метана – ключевое направление экологической стратегии Распадской угольной компании. К 2030 г. угольщики РУК планируют на 20% снизить выбросы этого парникового газа.

Хорошая дегазация – залог безопасной работы горняков под землей, уверененной добычи угля и проходки. Такие дегазационные установки откачивают газ.



Компанию-производителя уже выбрали? Какая мощность будет у пилотных газогенераторных установок (ГГУ) и когда их введут в эксплуатацию?

— Да, мы провели тендер и определили подрядчика, который изготовит первые газогенераторные установки. Согласно пилотным проектам на шахте «Ерунаковская-ВIII» запланирован монтаж газогенераторных установок суммарной мощностью 1,6 МВт, а на «Распадской» будет работать аналогичное оборудование общей мощностью 5 МВт. После заключения договора подрядчик приступит к изготовлению и монтажу установок. Выработка первой электроэнергии с помощью пилотных ГГУ запланирована на второй квартал 2026 г.

Мы с нашими партнерами смогли подобрать наиболее эффективный вариант газогенераторной установки для небольших концентраций метана, именно для наших предприятий. Основное преимущество такой системы в том, что она способна работать непрерывно.

Это оборудование смонтируют на промплощадках вблизи наших дегазационных установок. Оттуда метан напрямую будет поступать в ГГУ и перерабатываться в энергоноситель. Дальше цепочка понятная — с ГГУ электроэнергия будет передаваться в трансформатор и распределяться между потребителями шахты на поверхности.

Какой экономический, а главное, экологический эффект можно ожидать от реализации проектов на шахтах «Распадская» и «Ерунаковская-ВIII»?

— На этапе пилотного проекта, до его запуска в тираж, мы получаем снижение затрат на электроэнергию для потребителей



Весь цикл утилизации метана на шахтах Распадской автоматизирован. Установки оборудованы цифровыми мониторами контроля.

поверхностных объектов. Это существенная выгода для нашей компании, учитывая высокую стоимость киловатт-часа для промышленных предприятий.

Польза для экологии тоже очевидна — уже сейчас мы часть метана утилизируем, а вскоре начнем его перерабатывать и пускать на собственные нужды шахт. В комплексе эти меры снизят выбросы метана в атмосферу в сотни раз.

В целом, чтобы оценить эффект от пилотных проектов на двух наших шахтах, потребуется не меньше года. Затем на основании анализа работы установок мы просчитаем экономический эффект, его пользу для окружающей среды и примем решение о приобретении собственного оборудования и тиражирования проекта на другие шахты компаний.

Елена Зайченкова





УВАЖАЕМЫЕ ШАХТЕРЫ И ВЕТЕРАНЫ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ! ДОРОГИЕ ПАРТНЕРЫ, ДРУЗЬЯ!

От имени коллектива выставочной компании «Кузбасская ярмарка»
сердечно поздравляю вас

С ДНЁМ ШАХТЕРА!

Этот день – символ мужества, стойкости и самоотверженного труда людей, посвятивших свою жизнь добыче «чёрного золота». Примите искренние пожелания крепкого здоровья и благополучия для вас и ваших близких, успехов во всех начинаниях и новых трудовых побед!

Как организаторы Международной выставки «Уголь России и Майнинг» мы гордимся тем, что вносим свой вклад в развитие угольной отрасли. Наша выставка на протяжении 33 лет является площадкой для демонстрации передовых технологий и обмена опытом в угольной отрасли. Мы видим, как год от года совершенствуются методы добычи, повышается безопасность труда и улучшаются условия работы шахтеров.

Вместе мы преодолеем все трудности и построим сильную и процветающую угольную промышленность России! С Днем шахтера!

До встречи на 34-й Международной выставке «Уголь России и Майнинг» 2-5 июня 2026 года в угольном центре России – Новокузнецке!

С уважением,
генеральный директор ВК «Кузбасская ярмарка»,
вице-президент Российского союза выставок и ярмарок
В.В. Табачников

Цифровое решение для буровзрывных работ

Бумаг меньше, а контроль и оперативность выше. На разрезе АО «Междуречье» Новой Горной УК автоматизировали процессы организации взрывных работ и аналитики качества взрывов. Решение уникально для горнодобывающей отрасли России, так как затрагивает целую цепочку процессов – от производства взрывчатых веществ до оценки эффективности взрыва. Специализированный модуль разработали и внедрили в этом году в рамках проекта автоматизированной системы управления производством «Цифровой Горняк». Сейчас на разрезе идёт встраивание цифрового проекта в рабочие процессы.

Модуль автоматизации буровзрывных работ (АБВР) объединяет в единое информационное поле участников смежных процессов: службу главного маркшейдера, буровой и взрывной участки разреза, а также завод по производству взрывчатых веществ АО «ПВВ». Кроме того, модуль интегрирован с другими системами, которые уже используют на разрезе АО «Междуречье»: системой высокоточного позиционирования при бурении Mine Manager и горно-геологической системой ГЕОМИКС. Автоматизированная система управления Mine Manager была внедрена на разрезе в 2018 г., в результате чего буровые станки были оснащены бортовыми компьютерами. С их помощью машинист видит, в каком месте блока нужно пробурить скважину и какой глубины. В свою очередь, данные о плановом расположении скважин экспортируются в Mine Manager из ГГИС ГЕОМИКС, где разрабатывают проекты буровых работ.

Что изменилось в работе горняков

На разрезе появился новый инструмент для проектирования взрывных работ – это программное обеспечение ОНИКС. Раньше схему блока наносили на бумажную раскладку. Процесс выглядел так: специалисты маркшейдерской службы выезжали на блок, замеряли глубину скважин и заносили значения в тетрадь. После возвращения с горы маркшейдер переносил вручную информацию в таблицу Excel на компьютере и на бумагу. Эта работа занимала несколько часов. Обычно готовую схему взрывники получали уже в конце рабочего дня.

Сейчас маркшейдеры, занятые на буровзрывных работах, ещё на горе передают данные о глубине скважин с помощью



Сотрудники службы главного маркшейдера замеряют глубину каждой пробуренной скважины. Данные заносят в программу на планшете

планшета. Информация сразу попадает в систему и не требует дополнительной обработки. Внедрённый модуль помог сделать процесс бурения и зарядки скважин более оперативным и снизил отрицательное влияние человеческого фактора на качество работ.

«Маркшейдер ещё находится на горе, а мы уже можем составлять проект будущих взрывных работ. А также видим, какие скважины необходимо пробурить заново, если их глубина не соответствует плану. Благодаря АБВР ускорился процесс подготовки к взрывным работам и появился более качественный контроль», – рассказал Фёдор Беляев, заместитель начальника взрывного участка разреза АО «Междуречье».

Контроль за взрывчатыми веществами

Прозрачный контроль появился и на этапе зарядки скважин взрывчатыми веществами. Смесительно-зарядные машины завода «ПВВ» оборудовали дополнительными планшетами, на которых водители видят схему зарядки скважин и своё расположение. Особенность СЗМ в том, что фактически это завод на колёсах. Встроенный компьютер дозирует и смешивает компоненты взрывчатого вещества непосредственно на заряжаемом блоке. Эти данные также попадают в ПО ОНИКС. Таким образом, в программе можно проследить, какая именно машина заряжала определённую скважину, вес заряда и параметры компонентов взрывчатого вещества.

Кроме того, в рамках модуля АБВР на заводе «ПВВ» появился «Электронный журнал проб». На предприятии контролируют качество как полуфабрикатов и готовой продукции, так и входящего сырья. Результаты исследования всех проб – сырья,



Смесительно-зарядные машины оборудовали планшетами с программой ОНИКС. Так водитель видит, сколько взрывчатого вещества нужно зарядить в определённую скважину



Все данные – в доступе онлайн. Лаборанты завода «ПВВ» записывают результаты исследования проб в электронный журнал

эмulsionii в производственном цехе и смешанного взрывчатого вещества на блоке – лаборанты заносят в электронный журнал.

«У нас появилась система для оперативного контроля качества эмульсии и её компонентов. Электронный журнал позволяет в режиме онлайн выявлять отклонения и проводить аналитику. Качество взрывчатых веществ – один из важных параметров при подготовке горной массы. Качественные показатели должны строго соответствовать техническим условиям», – объясняет Олег Иванов, главный технолог завода «ПВВ». «Сейчас лаборанты заносят данные вручную в электронный журнал и на бумажный носитель, но в перспективе мы планируем полную автоматизацию ввода данных с лабораторных приборов и установку поточных датчиков».

Глаза для экскаватора

А понять, насколько эффективным был взрыв, помогает компьютерное зрение. На экскаваторы, которые производят вскрышные работы, установили камеры с технологией CV (Computer Vision). Во время работы техники программа распознаёт гранулометрический состав забоя – фракции горной породы по крупности. Чем больше негабаритов, тем сложнее работать экскаватору. Также возможны неровности площадки, которые приходится устранять. Всё это тормозит рабочий процесс и отражается на производительности как экскаваторов, так и автосамосвалов. Благодаря АВБР теперь можно проследить, что пошло не так во время буровзрывных работ, и учесть это при подготовке нового забоя.

«Модуль автоматизации буровзрывных работ по своему функционалу – инновационное решение для угледобывающих предприятий. Поэтому в контур проекта пока было включено ограниченное количество оборудования для оснащения: 5 единиц СЗМ и 5 экскаваторов. В перечне инициатив развития на 2026 г. – оснащение всего парка СЗМ и экскаваторов необходимым оборудованием», – поделился Максим Соловцов, руководитель отдела производственных систем Дирекции по ИТ Новой Горной УК.

«Цифровой горняк» Новой Горной УК

Модуль АВБР входит в Автоматизированную систему управления производством (АСУП) «Цифровой Горняк». Это главный проект цифровой трансформации в Новой Горной УК. Он стартовал в 2022 г. при грантовой поддержке Российского фонда развития информационных технологий. АСУП кросс-функционален и объединяет в себе управление добычей, обогащением и логистикой.



Пробы эмульсии берут вручную каждые 10 мин во время приготовления. Также на взрывном блоке лаборанты анализируют пробы готовой продукции из каждой машины



На пяти экскаваторах АО «Междуречье» установили камеры с компьютерным зрением. Программа различает состав горной массы по фракциям

В течение 2025 г. для развития бизнес-процессов компании также используются другие подсистемы «Цифрового горняка»:

- цифровой советник обогатительных фабрик;
- информационно-логистическая система ж/д транспорта;
- оперативное планирование обогатительных фабрик;
- управление лабораторной информацией;
- расчёт материального баланса;
- автоматизированная система управления горнотранспортным оборудованием.

За обеспечение стабильной работы всей системы будет отвечать Центр компетенций технической поддержки АСУП, который начали формировать в этом году совместными усилиями компании-интегратора МТ – Интеграция и Дирекции по ИТ Новой Горной УК. В команду технической поддержки уже сейчас входят более 50 специалистов самого различного профиля: разработчики, аналитики, архитекторы. Особая сложность здесь – в большом количестве пользователей и широком спектре процессов, которые охватывает «Цифровой горняк». Центр компетенций отрабатывает заявки от пользователей АСУП, используя систему технической поддержки Новой Горной УК Service Desk.

Ксения Миронова

ТМ-140 КУРГАНМАШЗАВОД

Вездеход с зауральским характером



<https://www.kmz.ru/>

Курганский машиностроительный завод более 30 лет выпускает гусеничную технику гражданского назначения. Первый вездеход серии ТМ разработан конструкторским бюро предприятия еще в 90-х годах прошлого столетия. Машина не раз проходила модернизации, повышающие эксплуатационные характеристики и надежность техники. В настоящее время осуществляется серийный выпуск нового поколения гусеничных плавающих вездеходов (снегоболотоходов) ТМ-140.

Главная особенность ТМ-140 – высокая проходимость. Она позволяет применять вездеход в труднодоступных районах, том числе в сложных климатических условиях Арктики.

Грузоподъемность машины составляет 4 т, скорость – до 45 км/ч по твердой поверхности и до 5 км/ч на воде, запас хода – более 500 км. Также на вездеход можно установить дополнительные топливные баки и увеличить дальность до 870 км.

В реальных условиях эксплуатации в районах Крайнего Севера и в ходе арктических экспедиций гусеничный вездеход ТМ-140 стablyно демонстрирует характеристики, значительно превосходящие заявленные в технической документации. В том числе безаварийно работает со сверхнагрузками, в условиях экстремально низких температур и даже переплыает разливы рек. Кроме того, машина способна подниматься в гору под углом до 30 град.

Вездеход комплектуется системой гарантированного запуска, которая позволяет завести двигатель даже при заряде аккумуляторных батарей ниже 20% от их номинального объема.

Каждый выпускаемый вездеход ТМ-140 по завершении производства проходит предпродажную обкатку на территории заводского полигона.

Приобрести технику можно в одной из четырех комплектаций: базовой (с грузовой платформой), с пассажирским модулем, с модулем-мастерской или с кран-манипуляторной установкой. Монтаж дополнительного оборудования на любую из комплектаций вездехода осуществляется по желанию заказчика.



КУРГАНМАШЗАВОД

АО «Курганмашзавод»
тел.: +7 3522 471 888 (Доб. 705, 707, 725)
e-mail: sales@kmz.ru

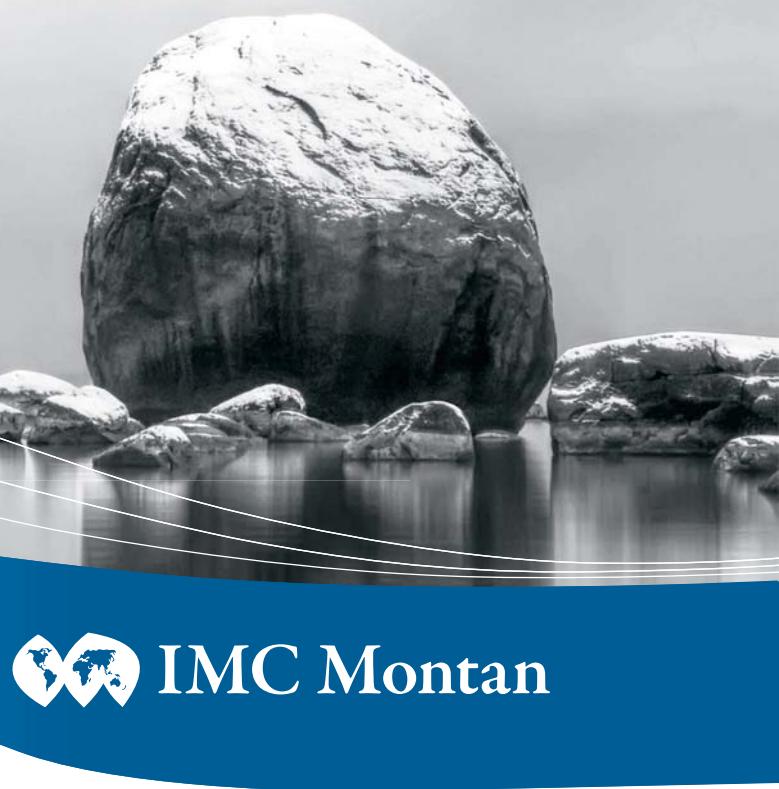
Уважаемые Коллеги, Друзья и Партнёры!

Каждый год мы сталкиваемся с новыми вызовами, и сегодняшний этап является настоящим испытанием для многих предприятий. В такие периоды труд каждого шахтёра должен быть максимально производительным – нацеленным на результат! Здоровья, сил и терпения вам и вашим семьям.

Желаем, чтобы запланированные проекты получали поддержку инвесторов и эффективно реализовывались, а их показатели вели ваши предприятия и всю промышленность вперед!

С Днём Шахтёра!

С уважением, С.Б. Никишев
и Команда IMC Montan



Консалтинговые услуги в горнодобывающей промышленности

- горно-геологический аудит
- оценка ресурсов/запасов
- отчет компетентного лица
- инженерно - технический консалтинг
- стратегии развития

Чем мы отличаемся от других компаний?

- Успешная реализация более 850 проектов с 1992 г.
- Команда лучших экспертов горной, геологической, перерабатывающей, экономической и др. областях
- Международная группа с опытом в других странах

МЫ РАБОТАЕМ, ВЫ РАЗВИВАЕТЕСЬ

Адрес: 125047, г.Москва,
ул. Чаянова 22 стр. 4

Тел.: +7 (495) 250 67 17;
Факс: +7 (499) 251 59 62

www.imcmontan.ru
consulting@imcgroup.ru

РЕКЛАМА

16+

АО «Коралайна Технологии»: Исследования. Передовые технологии. Современное оборудование

Л.В. Кошелченков, директор Горного Департамента

И.В. Клюкина, начальник Центра Исследования Минерального Сырья

Е.В. Лапин, главный обогатитель Центра Исследования Минерального Сырья

О.В. Шестаков, ведущий инженер

АО «Коралайна Технологии» специализируется в области внедрения передовых технологий обогащения сырья – разрабатывает новые и совершенствует существующие технологии по переработке рудных и нерудных полезных ископаемых.

Наша компания долгое время активно работает на рынке горного оборудования России и стран СНГ и представляет зарубежных производителей подготовительного, вспомогательного и основного обогатительного оборудования, а также имеет собственное производство на территории РФ. За эти годы наша компания наработала уникальный опыт работы в данной сфере, что позволяет нам учитывать не только общие направления развития в отрасли, но и индивидуальные пожелания каждого клиента и находить оптимальные решения, обеспечивающие максимальный эффект от внедрения соответствующей технологии или единицы оборудования. При этом учитываются особенности конкретного применения. Мы работаем по нескольким направлениям:

- Разрабатываем новые и совершенствуем уже существующие технологии обогащения рудного и нерудного сырья.
- Занимаемся проведением лабораторных и полупромышленных испытаний в собственном Центре Исследования Минерального Сырья.
- В соответствии с запросами и пожеланиями наших клиентов, подбираем и поставляем обогатительное оборудование.
- Консультируем технический персонал действующих предприятий по возможностям модернизации существующих технологий.
- Производим замену отдельных единиц оборудования, действующих предприятий для достижения наиболее эффективного их функционирования.
- Разрабатываем и внедряем новейшие автоматизированные системы управления обогатительными процессами.
- Выполняем весь спектр работ по монтажу, пуско-наладке и вводу в эксплуатацию поставленного оборудования и технологических линий.
- Собственный проектный департамент компании выполняет проекты строительства обогатительных фабрик «под ключ».

Разработка новых месторождений, усовершенствование существующих технологий и реализация новых технологических решений требуют исследований. Для решения данных задач нашей компании был создан Центр Исследования Минерального Сырья (ЦИМС). Центр занимается проведением лабораторных и полупромышленных испытаний. Проведение моделирования схем рудоподготовки, обогащения, сгущения и фильтрации получаемых продуктов позволяет с достаточной точностью прогнозировать технологические показатели, что в свою очередь дает нам возможность рекомендовать наиболее рациональные технологические решения, подобрать самое эффективное оборудование и гарантировать получение заявленных качественно-количественных показателей.

В Центре Исследования Минерального Сырья мы проводим:

Лабораторные исследования:

- Изучение вещественного состава и физико-химических характеристик материала. В рамках данных исследований проводится определение минерального состава природных разновидностей и промышленных типов руд, изучается контрастность технологических свойств материала, его гранулометрический и химический составы.
- Проведение тестовых (лабораторных) испытаний на малобъемных пробах. В рамках данных работ проводятся в том числе исследования на обогатимость сырья с целью оценки принципиальной возможности получения кондиционных продуктов обогащения.

Полупромышленные испытания:

- Дробление и измельчение (шаровое, бисерное) материала.
- Мокрая и сухая дезинтеграция и оттirка.
- Классификация (грохочение, гидроциклонирование, гидроклассификация).
- Гравитационное обогащение (мокрая и сухая крупнокусковая отсадка, тяжелосредная и винтовая сепарация, центробежная концентрация и разделение на концентрационных столах).
- Мокрая и сухая магнитные сепарации (низко- и высокогradientная).
- Механическая и колонная флотация (стандартные и кавитационные аэраторы).
- Электрическая сепарация.
- Вакуумная и пресс-фильтрации.
- Сгущение (включая пастовое) и центрифugирование.



Рис. 1 Технологическая линия по обогащению минерального сырья



Рис. 2 Изучение вещественного состава в ЦИМС

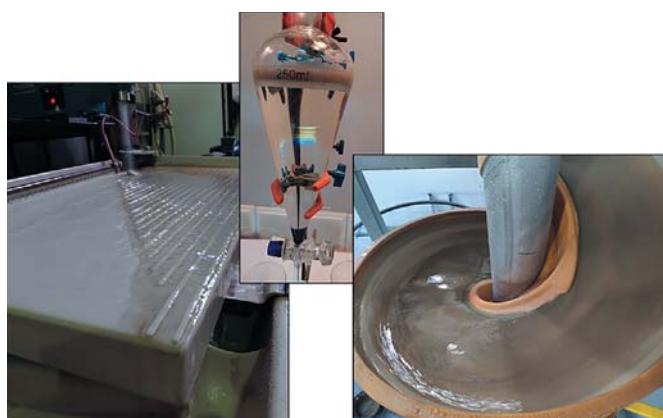


Рис. 3 Гравитационное обогащение в лабораторном и полупромышленном исполнении



Рис. 4 Гидроциклоны в ЦИМС и на промплощадке ГОК

Оборудование, которое используется в полупромышленных испытаниях, является промышленными моделями, либо их уменьшенными полупромышленными аналогами, что дает возможность получения технологических показателей, соответствующих на 90–95% показателям, прогнозируемым при промышленной реализации того или иного процесса.

Кроме исследований, проводимых в центре, мы также выполняем пилотные испытания на площадках заказчика.

Информация, полученная в ходе исследований, предоставляется в виде отчетов, Технических Регламентов содержащих анализ результатов, качественно-количественные и водно-



Рис. 5 Колонные флотомашины в лабораторном промышленном исполнении



Рис. 6 Винтовые сепараторы в лабораторном и промышленном исполнении

шламовые схемы, схем цепи аппаратов, рекомендаций по оборудованию и реализации проекта в целом.

Анализируя многолетний опыт нашей компании в области разработки оптимальных технологических решений, можно отметить, что все больше возникает запрос на уменьшение себестоимости переработки сырья. Этого можно достигнуть двумя путями:

– Установкой высокопроизводительного оборудования, обладающего высокой эффективностью разделения, простотой и большим сроком службы. К примеру, в некоторых случаях применение колонных флотомашин со стандартным способом

аэрации (SlamJet) позволяет получать кондиционные продукты уже на стадии межциклической флотации. В тоже время применение на основных и контрольных стадиях колонных флотомашин с кавитационным аэратором (трубка Вентури, в которую нагнетается часть камерного продукта) позволяет повышать извлечение ценных компонентов.

– Повышением комплексности использования минерально-сырьевой базы, что может быть достигнуто за счет вовлечения в переработку ранее заскладированных отходов производства и/или извлечения сопутствующих ценных компонентов в виде самостоятельной товарной продукции. Решение этого вопроса требует применения комбинированной технологии переработки, при этом пересматривается подход к стандартные гравитационным и магнитным схемам – классические схемы дополняются за счет применения сухой предконцентрации, селективного измельчения, дополнительных стадий гравитационного и магнитного обогащения, а также флотации и электросепарации.

Эта система многостадиальных процессов позволяет эффективно разделять чрезвычайно разные по свойствам, размеру и плотности материалы на отдельные продукты. Мы предлагаем системный подход к решению задач по обогащению руд, россыпей и техногенного сырья, включающий основные методы и их комбинации:

- Дробление, сухая магнитная сепарация и/или отсадка
- Промывка (скрубер-бутара)
- Измельчение (шаровое, бисерное) или оттирка
- Классификация (грохочение, гидроцикло- нирование, гидроклассификация).
- Гравитационное обогащение (крупнокусковая отсадка, тяжелосредняя и винтовая сепарация, центробежная концентрация и разделение на концентрационных столах).
- Мокрая и сухая магнитные сепарации (низко- и высокоградиентная (до 1,7 Тл)).
- Механическая и колонная флотация (стандартные и кавитационные аэраторы).
- Электрическая сепарация.
- Вакуумная и пресс-фильтрации.
- Сгущение (включая пастовое) и центрифугирование.



Рис. 7 Пастовые сгустители в лабораторном и промышленном исполнении

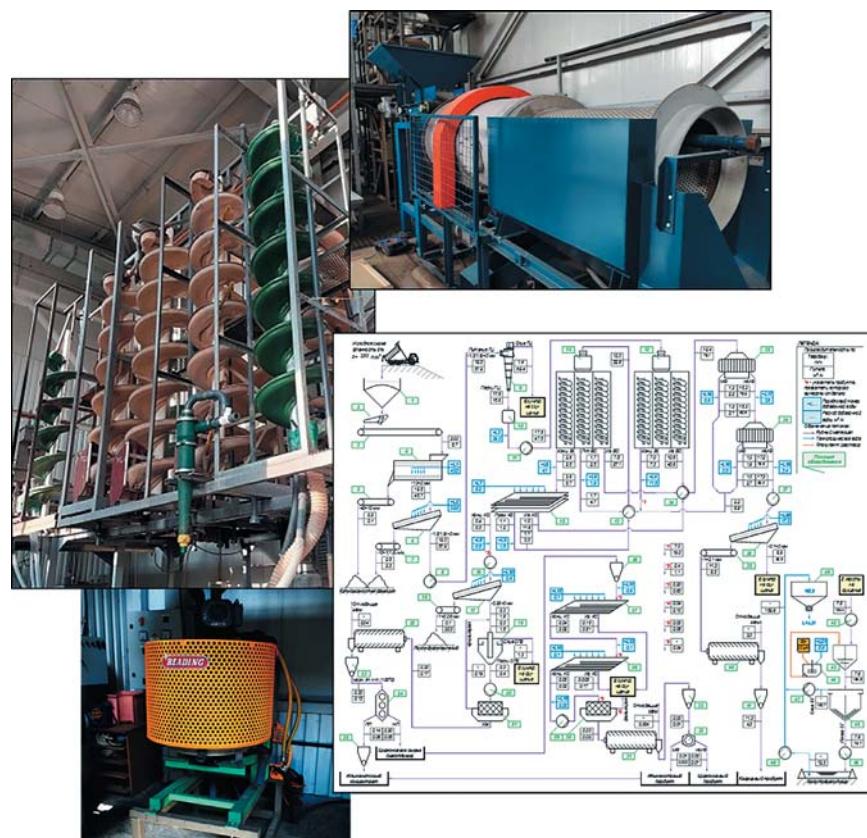


Рис. 8 ЦИМС: полупромышленные технологические испытания

Помимо комплексного подхода по поиску оптимальных технологических решений наша компания предоставляет услуги по принципиальной оценки обогатимости сырья, данные работы предусматривают моделирование рудоподготовительных и обогатительных процессов на небольших пробах весом 10-50 кг. Это позволяет нашим клиентам оперативно получать информацию о целесообразности вовлечения в переработку того или иного сырья.

Таким образом, мы предлагаем широкий спектр исследований – от небольших лабораторных до укрупненных полупромышленных испытаний. Гарантией качества наших работ являются глубокие знания в профессиональной сфере и многолет-

ний опыт, позволяющие находить оптимальные решения, необходимые нашим клиентам. Дипломированные специалисты с опытом работы на фабриках и горно-обогатительных комбинатах, научно-исследовательских институтах, прошедшие стажировку в компаниях с мировым именем, а также современные методы исследований, индивидуальный подход с соблюдением интересов заказчиков являются залогом высокого уровня нашей деятельности, позволяющей с максимальной точностью достигать требуемых технологических показателей, чему способствует наличие оборудования, соответствующего мировым стандартам.

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ДНЁМ ШАХТЁРА!



16+

РЕКЛАМА

Ваша профессия – одна из самых глубоких.
Вы постоянно находитесь под землёй, но при этом
всегда остаетесь на высоте.

Пусть каждый рабочий день приносит вам только радость и удовлетворение,
а ваши смелость и трудолюбие будут всегда вознаграждены.

Желаем крепкого здоровья, больших физических
и моральных сил, новых профессиональных достижений!

Спасибо вам! С праздником, наши герои!

С уважением, Ракитин В.А. и коллектив ООО «ERT-Групп»

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ:

Геомембранны «Кредо-Пласт» в горнодобывающей промышленности



Олег Степанов, Коммерческий директор ООО «Кредо-Пласт»

В современном мире горнодобывающая промышленность играет важную роль в экономическом развитии и обеспечении ресурсами. Однако традиционные методы добычи и переработки полезных ископаемых имеют ряд недостатков, таких как загрязнение окружающей среды, истощение природных ресурсов и нарушение экосистем. В связи с этим возникает необходимость внедрения инновационных технологий, которые позволят снизить негативное воздействие на окружающую среду и повысить эффективность производства.

Одной из таких инноваций является использование геомембраны. Геомембрана представляет собой полимерный материал, который обладает высокой прочностью, устойчивостью к агрессивным средам и долговечностью. Она используется для создания водонепроницаемых и газонепроницаемых барьеров в различных отраслях, включая горнодобывающую промышленность. Выделяют два основных вида геомембраны из полиэтилена высокого давления (ПВД, англ. – LDPE) и полиэтилена низкого давления (ПНД, англ. – HDPE). Главное отличие геомембран от других геосинтетических материалов – это ее высокие прочностные свойства и способность растяжения, которая достигает более 700%.

Испытания на прочность геомембран могут проводиться с использованием различных методов. Одним из наиболее

распространенных является испытание на растяжение. При этом образец геомембраны подвергается нагрузке для определения его способности выдерживать напряжения.

Также проводятся испытания на прочность сварных соединений геомембран. Важно, чтобы сварные швы были надежными и не были подвержены разрушению под воздействием нагрузок.

Помимо этого, геомембранны подвергают испытаниям на устойчивость к различным воздействиям, таким как ультрафиолетовое излучение, химические вещества и температурные колебания.

На производстве компании «Кредо-Пласт» применяется разрывная машина для оценки прочности при разрыве и относительного растяжения геомембранны. Продукция сертифициро-



вана согласно ГОСТ Р 56586–2015 и обладает экологическим сертификатом безопасности, что свидетельствует о высоком качестве изготавляемого товара.

В горнодобывающей промышленности геомембрана используется для решения следующих задач:

1. Гидроизоляция: для устройства гидроизоляции шламо- и хвостохранилищ шахт, карьеров и горнодобывающих предприятий. Геомембрана обеспечивает абсолютную водонепроницаемость, сейсмостойкость, стойкость к агрессивным средам и имеет срок службы до 100 лет.
2. Отвод поверхностных и грунтовых вод: для осушения территорий под добычу природных ископаемых и защиты шахт и карьеров от воздействия подземных вод. Здесь используются дренажные трубы с геотекстильной оболочкой для фильтрации воды и предотвращения проникновения мусора и грунтовых частиц внутрь дренажной системы.

Устройство геомембранны на объектах горнодобывающей промышленности начинается с тщательной подготовки поверхности. Затем геомембрана раскладывается на грунтовую основу и крепится специальными крепежными элементами.



После этого производится гидроизоляционная сварка швов для исключения возможности протечек. В конечном итоге на поверхность геомембранны могут укладываться геотекстиль или слой грунта для дополнительной защиты и укрепления конструкции. После завершения монтажа геомембранны производится контрольный осмотр и испытание укладки. Это позволяет убедиться в качестве выполненных работ и исключить возможные проблемы в будущем. При необходимости могут быть произведены доработки или усиление укладки.

В последние годы производство геомембран значительно эволюционировало в сторону улучшения качества, долговечности и экологичности. Вот некоторые из основных современных тенденций:

1. Использование высококачественных полимеров для создания продуктов с высокой устойчивостью к химическим воздействиям, ультрафиолетовому излучению и механическим нагрузкам.
2. Применение современных методов сварки, таких как тепловая и высокочастотная, для обеспечения прочного соединения между секциями геомембранны и предотвращения протечек.
3. Разработка специализированных покрытий и добавок для улучшения свойств геомембранны, таких как увеличение ее гибкости, устойчивости к проколам и улучшение стойкости к агрессии. Улучшение экологической устойчивости производства геомембранны путем использования рециклируемых материалов и снижения воздействия на окружающую среду.

Компания «Кредо-Пласт», следуя современным тенденциям, производит продукцию, отвечающую самым высоким требованиям и строгим стандартам качества.

Таким образом, геомембранны играют важную роль в современной горной промышленности, обеспечивая надежную защиту горных объектов и минимизируя негативное воздействие на окружающую среду. Внедрение современных технологий и материалов, таких как геомембранны, позволяет оптимизировать процессы производства и повысить эффективность использования горных ресурсов.

Цифровые решения для измерения скорости детонации ЭВВ

А.В. Дремин, П.Е. Якушев, ООО «Давтех»

При осуществлении буровзрывных работ одним из ключевых аспектов является выбор эмульсионных и смесевых взрывчатых веществ (ВВ), требующий оценки их плотности. Данный показатель, находящийся в прямой зависимости от скорости детонации ВВ, оказывает существенное влияние на эффективность процесса дробления горной породы и снижение выхода фракции негабарита. Определение скорости детонации является важным фактором для сравнения соответствия ВВ нормативным требованиям, изложенным в технических условиях (ТУ) предприятия-изготовителя.

Существующие методы определения скорости детонации ВВ, такие как реостатный, электромагнитный и контактный, имеют существенные недостатки: низкую разрешающую способность и необходимость использования специализированных измерительных устройств (датчиков), и это ограничивает возможности их применения. В этом контексте рефлектометрический метод, основанный на применении обычного коаксиального кабеля, выглядит наиболее перспективным решением.

Программно-аппаратный комплекс (ПАК) «Волна» – это запатентованное российское изобретение, обеспечивающее эффективное измерение скорости детонации в условиях открытых и подземных горных работ. В основе его работы лежит метод импульсной рефлектометрии с частотой дискретизации до 250 кГц. Устройство определяет скорость детонации, отслежи-



ПАК Волна поставляется в комплекте, позволяющем ввести его в эксплуатацию и проводить измерения в полном объеме, без дополнительных расходов со стороны Заказчика, в том числе комплектуются аккумуляторной батареей и зарядным устройством.

Длина кабеля 250 метров.
Глубина скважины – 21 метр.
Диаметр скважины – 187 мм.
Плотность ВВ – 1,24.

Рис. 1 Внешний вид устройства ПАК «Волна»



О КОМПАНИИ

Давтех – разработчик и производитель высокотехнологичных программно-аппаратных комплексов на основе искусственного интеллекта, машинного зрения и радиоэлектроники для горнодобывающей отрасли.

Наш опыт – более 20 лет успешных внедрений в IT-индустрии. Мы серийно выпускаем автоматизированные комплексы, помогая горнодобывающим предприятиям повышать рентабельность добычи и оптимизировать буровзрывные работы.

Дата взрыва: 2025.6.9.
Время взрыва: 13.22.57

Скважина	Глубина скважины	Диаметр скважины	Длина столба	Марка ВВ	Забойка (м)
№ 443	9	171	5,2	Эвофор	3,2

Средство инициирования – Hitronic 12 м; ПД ПТ-П 500
Взрываемая горная порода – Зона разлома
Наличие разрушенного слоя на блоке – Да

Рис. 2 Основные параметры скважины из отчета ПО «Волна»

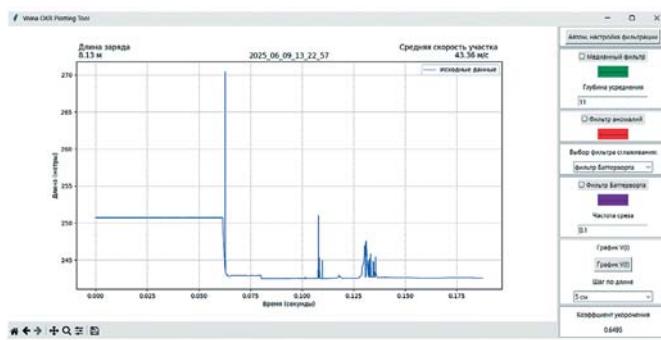


Рис. 3 Полная запись трека. Ось абсцисс – номер отсчёта в записи, ось ординат – измеренная длина кабеля

вая с помощью радиолокации, как коаксиальный кабель, расположенный в зоне взрыва, а именно в скважине, равномерно укорачивается. Анализируя изменения длины кабеля через фиксированные временные промежутки и время между этими замерами, можно вычислить скорость движения фронта взрывной волны и, соответственно, скорость детонации V :

$$V = \Delta l / t,$$

где Δl – изменение длины;
 t – временной интервал шага.

Иными словами, скорость V – это величина, показывающая, насколько быстро изменяется длина кабеля Δl за определенный промежуток времени t . Когда происходит взрыв, коаксиальный кабель в скважине начинает разрушаться, и его длина постепенно уменьшается. ПАК «Волна» позволяет отслеживать это изменение, выполняя до 7000 измерений длины кабеля через равные промежутки времени. Все полученные значения длины кабеля записываются во внутреннюю память прибора. Затем эти данные с помощью USB-кабеля передаются на персональный компьютер (ПК), где в специализированном программном обеспечении (ПО) происходит их детальная обработка. На основе этих обработанных данных рассчитывается средняя скорость детонации на различных участках в пределах глубины зарядной скважины. ПАК «Волна» обладает степенью защиты IP67 и оснащен энергонезависимой памятью, которая может хранить до 30 последних измерений. Время автономной работы от встроенных аккумуляторов составляет не менее 12 ч. Прибор работает в температурных режимах от -40 до +50 °C, а вес устройства составляет всего 800 г.

Низкая скорость детонации ВВ порождает ряд существенных сложностей, среди которых выделяются неэффективное разрушение верхней части взрыва, или так называемой «шапки»

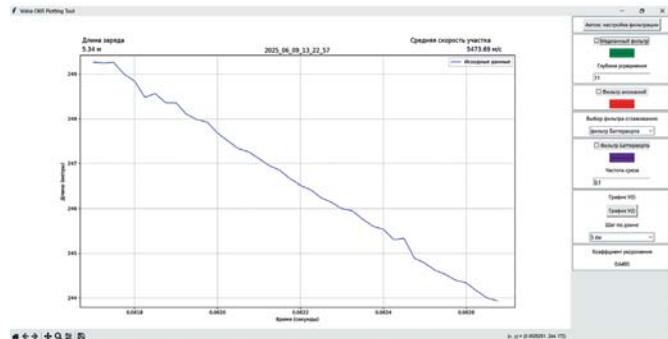


Рис. 4 Ось абсцисс – номер отсчёта в записи (время), ось ординат – измеренная длина кабеля (величина уменьшения длины кабеля за счет горения)

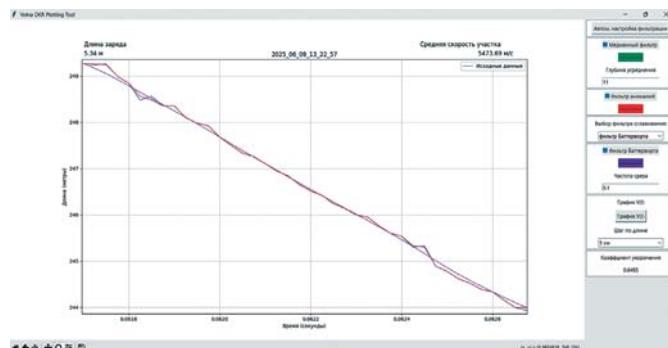


Рис. 5 Зона интереса в треке после фильтрации. Ось абсцисс – номер отсчёта в записи, ось ординат – измеренная длина кабеля

взрыва, а также недостаточная проработка нижней части, что приводит к неудовлетворительной проработке «подошвы» горизонта. Эти факторы ведут к серьезным негативным последствиям, таким как:

- выход негабарита и в целом неблагоприятный гранулометрический состав взорванной горной массы (ВГМ) приводит к снижению эффективности работы погрузочных машин и, как следствие, всего погрузочного комплекса;
- амортизация ковшей и эксплуатационные расходы экскаваторов;
- сокращение срока службы дробильно-сортировочного оборудования на обогатительных фабриках;
- повышение износа бурового оборудования и расходных материалов, обусловленное необходимостью вторичного бурения, а также ростом числа «перебуров» скважин, вызванных повреждениями устьев первоначально пробуренных скважин и превышением высотных отметок по «подошве» горизонта.

В результате все вышеуказанные факторы приводят к увеличению затрат на взрывные работы из-за необходимости повторных взрывов, что влечет за собой дополнительный расход ВВ, промежуточных детонаторов, средств инициирования и т.п.

Материал, изложенный далее, демонстрирует опыт внедрения ПАК «Волна» на одном из золотодобывающих предприятий РФ. В ходе внедрения была измерена скорость детонации ЭВВ «Эвофор-70» с целью сравнения соответствия ВВ нормативным требованиям, изложенным в ТУ предприятия-изготовителя.

БУРОВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ

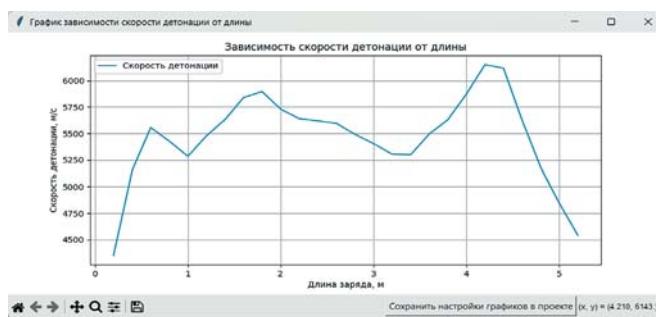


Рис. 6 Процесс протекания детонации скважинного заряда (ось ординат — скорость детонации, ось абсцисс — длина заряда)



Рис. 7 ПАК «Волна» — скорость детонации ВВ 4983 м/с

Форма отчетности, представленная ниже, является дополнением к графикам скорости детонации, которые создаются в специализированном ПО «Волна».

Средняя скорость детонации по всей длине заряда определена как **5473 м/с**.

Стоит отметить, что результаты измерений скорости детонации ЭВВ «Эвофор-70» находятся в пределах, установленных ТУ предприятия-изготовителя, и соответствуют заявленным характеристикам.

В рамках сравнения устройств измерения скорости детонации с ушедшими с рынка зарубежными аналогами на одном из предприятий были проведены исследования на одной скважине с использованием трех различных кабелей, подключенных к устройствам ПАК «Волна», «HandiTrap II» (Канада) и «ShotTrack VoD-305» (Австралия).

Результаты исследования показали, что ПАК «Волна» находится на уровне зарубежных аналогов, при этом, как видно из графиков, уровень посторонних помех и искажений (например, таких как обрыв кабеля или завал кабеля осколками породы от взрыва) существенно ниже.

Заключение

Российские компании разработали и внедрили цифровые решения для БВР, которые эффективно заменили импортное оборудование, покинувшее рынок РФ в 2022 г. Эти отечественные разработки находятся на уровне зарубежных аналогов, а зачастую по многим ключевым показателям их превосходят и постоянно модернизируются, и ПАК «Волна» не исключение.

ПАК «Волна» зарекомендовало себя как надежное решение для российских горнодобывающих компаний и успешно заме-

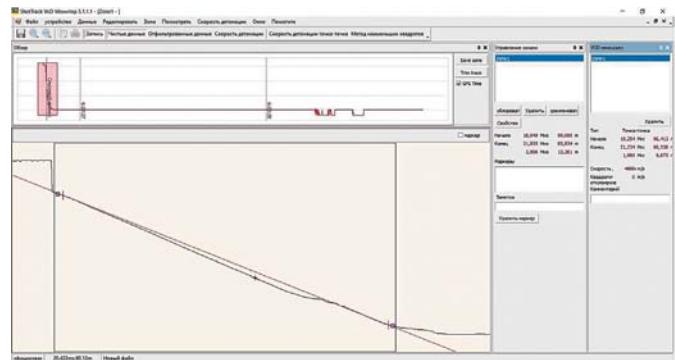


Рис. 8 «ShotTrack VoD-305» — скорость детонации ВВ 5108,1 м/с

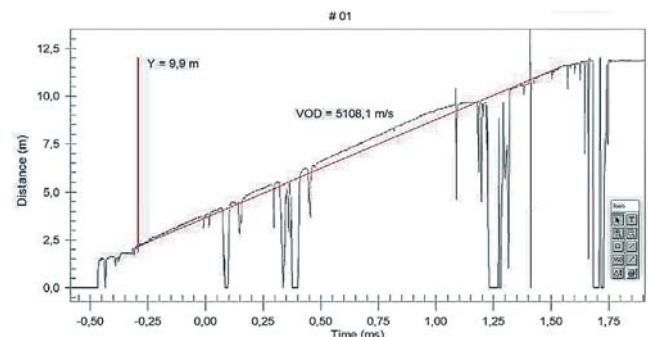


Рис. 9 «HandiTrap II VoD» — скорость детонации ВВ 4980 м/с

щает импортные продукты. Применение ПАК «Волна» не ограничивается РФ — уже налажено сотрудничество с заказчиками из Казахстана и Узбекистана, а также ведется активная работа по запросам из Перу, Ирана и некоторых африканских стран.

ПАК «Волна» предназначен для оценки качества взрывных работ, и если ключевой показатель, такой как скорость детонации ВВ неудовлетворителен, то говорить об приемлемом проведении БВР невозможно, поскольку горнодобывающие предприятия требуют высокой эффективности и качества БВР, одновременно стремясь к снижению затрат.

Развитие российских технологий в области БВР компанией «Давтех» продолжается. В 2025 г. компания представит первый в РФ прототип ПАК «Импульс» — устройство для измерения скорости детонации патронированных ВВ.

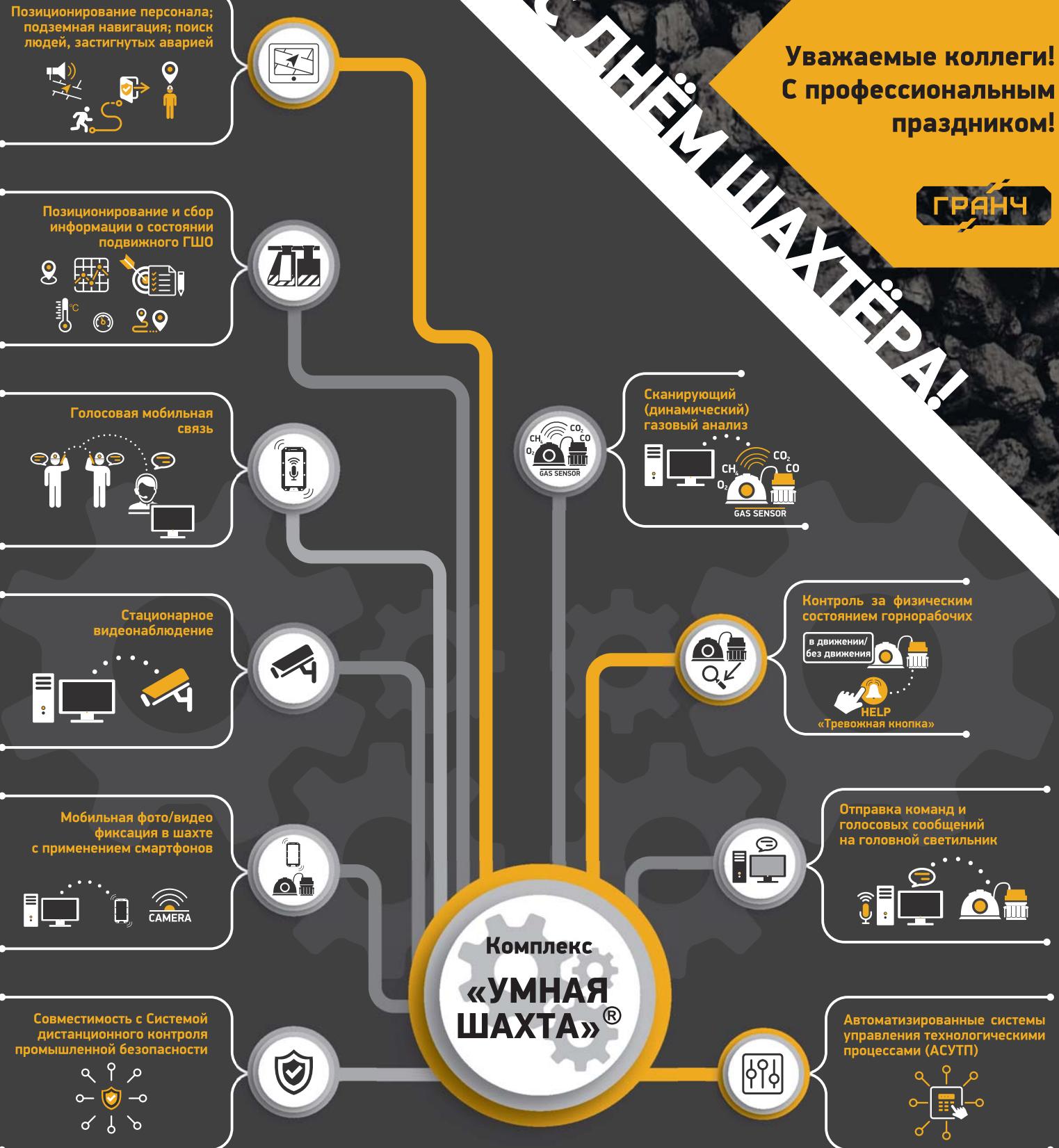
+7(343) 266-34-68
info@davtech.ru
г. Екатеринбург
ул. Родонитовая, 18Б
офис 601



Уважаемые коллеги!
С профессиональным
праздником!

ГРЯНЧ

С ДНЕМ ШАХТЕРА!



ВНИМАНИЕ! «УМНАЯ ШАХТА»® наилучшим образом выполняет актуальные требования Федеральных норм и правил к системам позиционирования и аварийного оповещения - как для угольных шахт, так и для рудников!



ГРЯНЧ

16+

РЕКЛАМА

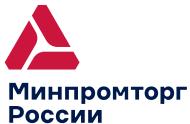
+7 (383) 233-35-12
info@granch.ru
www.granch.ru



Масштабное событие горной отрасли в России

Рудник

официальная поддержка:



Торгово-промышленная
палата Российской Федерации



Правительство
Свердловской области



НП «Горнпромышленники
России»

22–24 октября 2025
Екатеринбург

10-я международная выставка современных
технологий, оборудования и спецтехники
для горнодобывающей промышленности

принять участие



посетить



МВЦ «Екатеринбург-ЭКСПО»
ЭКСПО-бульвар, дом 2
(342) 206-44-80

mine.proexpo.ru



16+



Оценка теплоты взрыва смесей эмульсии с гранулами вспененного полистирола

Маслов Илья Юрьевич, кандидат технических наук, директор, АННО НИИ ТБВР

В соответствии с терминологией, предложенной в работе [1], эмульсионные взрывчатые вещества (ЭВВ), смешанные с гранулами пенополистирола, будем называть эмульпорами. Для эффективного применения эмульпоров при производстве щадящего взрывания необходимо знание их удельной теплоты взрыва. В работе [2] предложена методика определения удельной теплоты взрыва ЭВВ, однако при этом не учитывается использование пенополистирола в качестве наполнителя. Воспользуемся результатами этой работы для расчета удельной теплоты взрыва эмульпоров.

Основные результаты работы

Допустим, что при детонации ЭВВ происходит химическая реакция согласно уравнению:

$$\sum a_m A_m = \sum b_i X_i + \sum f_j Y_j, \quad (1)$$

где A_m – начальные вещества в составе ЭВВ; X_i – газообразные продукты взрыва; Y_j – твердотельные продукты взрыва; a_m , b_i , f_j – мольные коэффициенты.

Согласно общепринятым методикам удельная теплота взрыва Q_V определяется из уравнения Гесса (при конечной температуре продуктов взрыва 298 К) [3]:

$$Q_V = \frac{1}{G} \left(\sum b_i Q_P^{X_i} + \sum f_j Q_P^{Y_j} - \sum a_m Q_P^{A_m} + 0,592 \Delta b \right), \quad (2)$$

где $Q_P^{X_i}$, $Q_P^{Y_j}$, $Q_P^{A_m}$ – стандартные теплоты образования X_i , Y_j и A_m – веществ соответственно, ккал/моль; G – масса вещества, вступившего в реакцию, кг; $G = \sum a_m \mu_m$, где μ_m – молекулярная масса m -вещества, кг/моль; $\Delta b = \sum f_j - \sum b_i$ – количество молей газообразных продуктов взрыва.

Однако при расчетном определении удельной теплоты взрыва для ЭВВ по уравнению (2) возникают сложности, обусловленные

- отсутствием надежных данных о химическом составе топливной фазы, используемой при изготовлении ЭВВ;
- отсутствием надежных экспериментальных данных о составе продуктов взрыва.

В общем виде брутто-формула элементов топлива имеет вид $C_aH_bO_cS_d$ [4].

При определении значений коэффициентов в этой брутто-формуле используем эмпирическую формулу Крэга для определения молекулярной массы нефтепродукта (г/моль) и данные об элементарном составе топлива [5, 6].

Согласно Крэгу среднее значение молекулярной массы нефтепродукта, г/моль, равно [4]:

$$\mu = \frac{44,29 \rho_{15}}{1,03 - \rho_{15}}, \quad (3)$$

где ρ_{15} – плотность нефтепродукта при 15°C, г/см³.

Если известна плотность нефтепродукта при 20°C (например, для индустриальных масел), то для определения ρ_{15} можно использовать формулу Д.И. Менделеева [7]:

$$\rho_{15} = \rho_{20} + 5 \cdot 10^{-4} (18,310 - 13,233 \rho_{20}), \quad (4)$$

где ρ_{20} – плотность нефтепродукта при 20°C, г/см³.

Оценка теплоты взрыва смесей эмульсии с гранулами вспененного полистирола

И.Ю. Маслов, ilmaslov@mail.ru

Аннотация: В связи с возможностью механизированного заряжания скважин низкоплотными смесями эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) с гранулами пенополистирола проявляется значительный интерес к использованию данных смесевых взрывчатых веществ для формирования скважинных зарядов при производстве щадящего взрывания на карьерах. Однако для эффективного осуществления щадящего взрывания с использованием низкоплотных ЭВВ необходимо знание их детонационных параметров, из которых важнейшим является удельная теплота взрыва. В настоящей работе представлена методика определения данной величины, что представляет значительный интерес для практики применения указанных ЭВВ.

Ключевые слова: эмульсионные взрывчатые вещества, удельная теплота взрыва, гранулы пенополистирола, эмульпоры

Estimation of blast heat of emulsion explosives with expanded polystyrene granules

I.Yu. Maslov, Cand. Sci. (Eng.), Director, Research Institute of Blasting Technology and Safety, ilmaslov@mail.ru

Abstract: Due to the possibility of mechanized charging of blast holes with low-density mixtures of emulsion explosives (EE) with expanded polystyrene granules, there exists a considerable interest in using these mixed explosives to create blast hole charges when performing gentle blasting operations in open pits. However, for efficient implementation of the gentle blasting using low-density emulsion explosives, it is necessary to know their detonation properties, of which the specific blast heat is the most important. This paper presents a method for determining this value, which is of a considerable interest for the practical application of these emulsion explosives.

The author wishes to express his gratitude to G.F. Fokina and A.D. Argentova for their help in preparing this article.

Keywords: emulsion explosives, specific blast heat, expanded polystyrene granules, emulpors

БУРОВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ

Таблица 1 Результаты определения брутто-формул жидких топлив, применяемых при изготовлении ЭВВ

Вид топлива	ρ_{15} , г/см ³	$\mu_{расч}$ г/моль, по Крэгу	μ , г/моль, по брутто-форм.	Массовая доля веществ в топливе, %				Брутто-формула
				[C]	[H]	[S]	[O]	
ДТ арктическое	0,830	183,8	183,7	85,6	14,0	0,4	-	$C_{13,1}H_{25,8}S_{0,023}$
ДТ зимнее	0,840	195,8	194,4	86,2	13,5	0,2	-	$C_{14}H_{26}S_{0,013}$
ДТ летнее	0,860	224,1	222,3	86,6	13,2	0,2	-	$C_{16}H_{30}S_{0,01}$
Масло И-20А	0,893	288,7	287,9	87,2	11,8	1	-	$C_{20,9}H_{33,9}S_{0,1}$
Масло И-40А	0,903	314,9	314,4	87,5	11,5	1	-	$C_{22,9}H_{36,4}S_{0,1}$

Примечание: ДТ – дизельное топливо.

В табл. 1 приведены брутто-формулы и данные, используемые при их определении для наиболее распространенных жидких топлив, применяемых при изготовлении ЭВВ.

В ходе расчетов использовались данные о плотностях рассматриваемых топлив [5, 6], формула Крэга для определения их молекулярных масс и справочные сведения о массовых долях веществ в этих топливах.

Теплота образования топлива может быть определена из теплоты их сгорания и полученных брутто-формул.

Согласно формуле Д.И. Менделеева низшая теплота сгорания углеводородного топлива равна [7]:

$$Q_{\text{сог.низ.}} = 81[C] + 246[H] - 26([S] - [O]) - 6[W], \text{ ккал/кг}, \quad (5)$$

где [C], [H], [S], [O], [W] – массовая доля в процентах содержания в топливе углерода, водорода, серы, кислорода и воды соответственно.

По закону Гесса теплота образования топлива равна разнице между теплотой образования продуктов сгорания и теплотой сгорания топлива:

$$Q_{\text{образ.}} = 94,03a + 57,801 \cdot \frac{b}{2} + 70,95 \cdot d - Q_{\text{сог.низ.}} \cdot \frac{\mu}{1000}, \text{ ккал/моль}. \quad (6)$$

В уравнении (6): 94,03 ккал/моль, 57,801 ккал/моль и 70,95 ккал/моль – теплоты образования двуокиси углерода, воды (пар) и двуокиси серы соответственно [3].

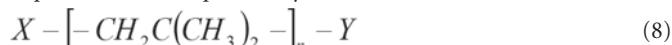
В табл. 2 приведены результаты вычислений теплоты образования для указанных в табл. 1 видов углеводородных топлив. Вычисления выполнены на основании формул (5), (6) и данных табл. 1.

На основании уравнения (2) определяем вклад теплоты образования топлива в удельную теплоту взрыва ЭВВ:

$$\Delta Q_{\text{monl.}} = -10\alpha_{\text{monl.}} \cdot \frac{Q_p^{\text{monl.}}}{\mu_{\text{monl.}}}, \text{ ккал/кг}, \quad (7)$$

где $\mu_{\text{monl.}}$ – молекулярная масса топлива, г/моль; $Q_p^{\text{monl.}}$ – теплота образования топлива, ккал/моль; $\alpha_{\text{monl.}}$ – массовая доля топлива в ЭВВ в процентах.

В настоящее время в России и за рубежом достаточно широкое распространение получили синтетические эмульгаторы, образованные макромолекулами вида [8]:



где n – число повторяющихся структурных звеньев; X, Y – концевые полярные группы. $X, Y - COH, COOH$ для эмульгаторов «РЭМ» и «ПИБСА», описываемых уравнением (8), а для эмульгатора фирмы JCJ Australia (уравнение (9)) $X, Y - NH_2$.

Параметр имеет величину порядка десятков и сотен единиц. Это обстоятельство позволяет пренебречь вкладом концевых групп в энергию образования эмульгатора.

Теплота образования групп $CH_2C(CH_3)_2$ и C_2H_4 , рассчитанная по энергиям связи [3], оказалось равной:

– для группы $CH_2C(CH_3)_2$ – (+30,2 ккал/моль – с учетом изомерного эффекта);

– группы C_2H_4 – (+12,6) ккал/моль.

Следовательно, теплота образования эмульгаторов будет: $Q_p^{\text{эмул.}} \approx 30,2n$ для эмульгатора вида (8) и $Q_p^{\text{эмул.}} \approx 12,6n$ ккал/моль – для (9).

Положим, что $\alpha_{\text{эмул.}}$ – массовая доля эмульгатора в ЭВВ в процентах.

На основании формулы (2) определяем вклад теплоты образования эмульгатора в удельную теплоту взрыва ЭВВ

$$\Delta Q_{\text{эмул.}} = -10\alpha_{\text{эмул.}} \cdot \frac{Q_p^{\text{эмул.}}}{\mu_{\text{эмул.}}}, \text{ ккал/кг}, \quad (10)$$

где $\mu_{\text{эмул.}}$ – молекулярная масса эмульгатора, г/моль ($\mu \approx 56n$ г/моль для эмульгатора вида (8) и $\mu \approx 28n$ г/моль – для (9), т.к. $n >> 1$); $Q_p^{\text{эмул.}}$ – теплота образования эмульгатора, ккал/моль.

Исходя из формул (7), (10) определяем – вклад теплоты образования рассматриваемых эмульгаторов в удельную теплоту взрыва ЭВВ:

$$\Delta Q_{\text{эмул.}} \approx -5,4\alpha_{\text{эмул.}}, \text{ ккал/кг} – \text{для эмульгатора вида (8);} \quad (11)$$

$$\Delta Q_{\text{эмул.}} \approx -4,5\alpha_{\text{эмул.}}, \text{ ккал/кг} – \text{для эмульгатора вида (9).} \quad (12)$$

Для иллюстрации полученных результатов в табл. 3 представлены результаты расчета удельной теплоты взрыва («вода-пар») для ЭВВ, матричные эмульсии которых имеют следующие составы:

– **состав №1** (NH_4NO_3 – 78,0%, H_2O – 15,5%, топл. фаза: И-20 – 5,5%, эмульгатор «РЭМ» – 1,0 %);

– **состав №2** (NH_4NO_3 – 62,0%, $NaNO_3$ – 15,0%, H_2O – 15,5%, топл. фаза: И-40 – 6,5%, эмульгатор «РЭМ» 1,0%);

– **состав №3** (NH_4NO_3 – 48,7%, $Ca(NO_3)_2$ – 27,8%, H_2O – 15,5%, топл. фаза: летнее ДТ – 7,0 %, эмульгатор «Лубризор» – 1,0%).

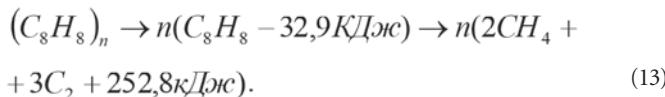
Таблица 2 Расчетные значения теплоты образования углеводородных топлив, применяемых при изготовлении ЭВВ

Показатели	Вид топлива				
	ДТ арктическое	ДТ зимнее	ДТ летнее	Масло	[O]
Теплота образования, ккал/моль	74,77	66,97	92,19	99,68	105,06

Таблица 3
Значения плотности и теплоты взрыва рассматриваемых эмульсий

Состав эмульсии	Плотность эмульсии, г/см ³	Удельная теплота взрывчатого разложения эмульсии («вода – пар»), ккал/кг
1	1,33	616,9
2	1,42	579,5
3	1,48	641,2

Согласно [9] процесс ударного разложения пенополистирола сопровождается карбонизацией продуктов распада и происходит по схеме:



Общий тепловой эффект ударной газификации пенополистирола равен

$$q_{mm} = 219,9 \text{ кДж / моль} = 52,55 \text{ Ккал / моль}. \quad (14)$$

Рассмотрим эмульпор, полученный при смешивании эмульсии массой $G_{\text{эм}}$ и пенополистирола массой G_{mm} . При взрывчатом разложении данной смеси практически не происходит взаимодействия продуктов разложения эмульсии и пенополистирола, т.к. эмульсия имеет нейтральный, а чаще отрицательный кислородный баланс [8, 10].

Удельная теплота взрыва эмульпора равна

$$Q_{\text{эмульпор}} = \frac{q^* G_{mm} + Q_v G_{\text{эм}}}{V_{\text{эмульпор}}}, \quad (15)$$

где $q^* = \frac{q_{mm} G_{mm}}{\mu_{mm}}$ – удельная теплота ударного разложения пенополистирола (из (15) – $q^* = 505,3$ ккал/кг); для низкоплотных эмульзоров – $V_{\text{эмульпор}} \approx \frac{G_{mm}}{\rho_{mm}^{ нас}} \cdot \zeta$.

Учитывая, что $\frac{G_{\text{эм}}}{G_{mm}} = \frac{\rho_{\text{эм}} V_{\text{эм}}}{\rho_{mm}^{ нас} V_{mm}} = \frac{\rho_{\text{эм}}}{\rho_{mm}^{ нас} \zeta}$, на основании уравнения (15) определяем удельную теплоту взрыва эмульзоров

$$Q_{\text{эмульпор}} = q^* \rho_{mm}^{ нас} + \frac{Q_v \rho_{\text{эм}}}{\zeta}.$$

Вывод

Разработана методика определения удельной теплоты взрыва низкоплотного эмульпора, учитывающая как химический состав окислительной фазы эмульсии, так и объемное содержание гранул пенополистирола. Полученные результаты представляют значительный интерес для практики применения указанных ЭВВ.

Список литературы:

1. Маслов И.Ю. Повышение эффективности взрывной подготовки вмещающих горных пород на разрезах Кузбасса с применением эмульсионных взрывчатых веществ, сенсибилизированных гранулами пенополистирола / Дис...канд. техн. наук: 25.00.20/ Маслов Илья Юрьевич. – М. – 2013. – 132с.
2. Маслов И.Ю. К вопросу о расчете удельной теплоты взрыва эмульсионных взрывчатых веществ и гранэмитов / И.Ю. Маслов, С.А. Горинов, С.А. Козырев // Взрывное дело. – 2020. – № 126/83. – С. 51-67.
3. Баум Ф.А. Физика взрыва / Ф.А. Баум, К.П. Станюкович, Б.И. Шехтер. – М.: Гос. изд. физ.-мат. лит-ры. – 1959. – 800 с.
4. Суханов В.П. Переработка нефти: Учебник. – М.: Высшая школа. – 1979. – 335 с.
5. ГОСТ 20799-88. Масла индустриальные. Технические условия.
6. ГОСТ 305-2013. Межгосударственный стандарт. Топливо дизельное. Технические условия.
7. Физико-химические и огнеопасные свойства органических химических соединений. Кн. 1: Справочник / Г.Т. Земский. – М.: ВНИИПО МЧС России. – 2009. – 502 с.
8. Колганов Е.В. Эмульсионные промышленные взрывчатые вещества. 1-я кн. (Составы и свойства) / Е.В. Колганов, В.А. Соснин – Дзержинск Нижегородской обл.: Изд-во ГосНИИ «Кристалл». – 2009. – 592 с.
9. Нирафдьев В.И. Роль вспененного полистирола в развитии первичных химических реакций в детонационной волне низкоплотных взрывчатых смесей / В.И. Нирафдьев, Н.М. Калинина // Вестник КРСУ. – 2007. – Т.7. – №1. – С. 33-41.
10. Ван Сьюгун. Эмульсионные взрывчатые вещества / Пер. под ред. Старшинова А.В. – Красноярск: Metallurg Industry Press. China, 2012. – 380 с.

References:

1. Maslov I.Y. Improving the efficiency of explosive preparation of host rocks in Kuzbass sections using emulsion explosives sensitized with expanded polystyrene granules / Diss. ... Candidate of Technical Sciences: 25.00.20/ Maslov Ilya Yuryevich. - M. - 2013. - 132s.
2. Maslov I.Yu. On the issue of calculating the specific heat of explosion of emulsion explosives and granemites / Maslov I.Yu., Gorinov S.A., Kozyrev S.A. // Explosive business. - 2020. - no. 126/83. - pp. 51-67.
3. Baum F.A. Physics of explosion / F.A. Baum, K.P. Stanyukovich, B.I. Shekhter. Moscow: State Publishing House of Physics and Mathematics. letters. - 1959. - 800 p.
4. Sukhanov V.P. Oil refining: Textbook. Moscow: Vysshaya shkola, 1979, 335 p.
5. GOST 20799-88. Industrial oils. Technical specifications.
6. GOST 305-2013. The interstate standard. The fuel is diesel. Technical specifications.
7. Physico-chemical and flammable properties of organic chemical compounds. Book 1: Handbook / G.T. Zemsky. Moscow: VNIIPo EMERCOM of Russia. - 2009. - 502 p.
8. Kolganov E.V. Emulsion industrial explosives. -1st book (Compositions and properties) / E.V. Kolganov, V.A. Sosnin - Dzerzhinsk, Nizhny Novgorod region: Publishing House of the State Research Institute "Kristall". - 2009. - 592 p.
9. Nifadyev V.I. The role of expanded polystyrene in the development of primary chemical reactions in the detonation wave of low-density explosive mixtures/ V.I. Nifadyev, N.M. Kalinina// Bulletin of the KRSU. – 2007. – Vol. 7. - No. 1. – pp. 33-41.
10. Wang Xiguang. Emulsion explosives / Trans. ed. Starshinova A.V.- Krasnoyarsk: Metallurg Industry Press. China, 2012.- 380c.

Перспективы применения бесселитренных промышленных взрывчатых веществ при разработке минеральных ископаемых в арктической зоне России

Брагин Павел Александрович – начальник лаборатории сертификационных испытаний взрывчатых материалов, ООО «Глобал Майнинг Эксплозив – Раша» (г. Москва)

Бредихин Александр Юрьевич – аспирант, Автономная некоммерческая научная организация «Научно-исследовательский институт технологий и безопасности взрывных работ» (АННО НИИ ТБВР, г. Наро-Фоминск)

Конюхов Кирилл Романович – аспирант, АННО НИИ ТБВР

Маслов Илья Юрьевич – кандидат технических наук, директор, АННО НИИ ТБВР

Природная среда в арктической зоне крайне медленно восстанавливается от антропогенного воздействия. Освоение арктической зоны России связано в первую очередь с освоением ее минеральных ресурсов. Добыча твердых полезных ископаемых, как правило, сопряжена с производством буровзрывных работ. Более 90% применяемого объема промышленных взрывчатых веществ (ВВ) в настоящее время – это аммиачно-селитренные (ACBB) (порошкообразные аммониты, гранулиты, водногелевые и эмульсионные).

При контакте зарядов ACBB с внутристкважинными водами обводненных горных массивов, а также просыпи, проливы, отказы зарядов ACBB, перемешанные со взорванной горной массой, загрязняют пластовые воды, которые с водоотливом выбрасываются в отстойники хвостохранилищ и попадают в окружающую среду. Аммоний-ион и нитрат-ион, входящие в состав аммиачной селитры, являются опасными химическими загрязнителями, лимитирующий фактор – токсикологический (отравляюще действуют на водоросли в водоемах, ихтиофауну,

Перспективы применения бесселитренных промышленных взрывчатых веществ при разработке минеральных ископаемых в арктической зоне России

П.А. Брагин, А.Ю. Бредихин, К.Р. Конюхов, И.Ю. Маслов, ilmaslov@mail.ru

Аннотация: В связи с началом освоения арктической зоны России и разработкой месторождений твердых полезных ископаемых существует угроза экологического ущерба от применения аммиачно-селитренных промышленных взрывчатых веществ (ACBB): загрязнение почв и водных источников нитратным и аммонийным азотом. Авторами рассмотрен альтернативный аммиачной селитре окислитель в составе смесевых промышленных взрывчатых веществ – пергидроль (перекись водорода); рассмотрен состав, приведены результаты полигонных испытаний такого альтернативного ВВ. Рассмотрены перспективы организации производства пергидроля непосредственно на местах применения в условиях промплощадок горнодобывающих предприятий.

Ключевые слова: : аммиачно-селитренные промышленные взрывчатые вещества (ACBB); освоение арктической зоны; буровзрывные работы; смесевые промышленные взрывчатые вещества; окислитель; пергидроль; пероксид, перекись водорода; метанол, автоокисление антрахинона, скорость детонации

Prospects of applying ammonium nitrate-free industrial explosives in mining of mineral resources in the Arctic Zone of the Russian Federation

Pavel A. Bragin, Head of the Laboratory of Certification Testing of Explosive Materials, Global Mining Explosives - Russia LLC (Moscow),

Alexander Yu. Bredikhin, Post-Graduate Student, Research Institute of Blasting Technology and Safety (Naro Fominsk)

Kirill R. Konyukhov, Post-Graduate Student, Research Institute of Blasting Technology and Safety

Ilya Yu. Maslov, Cand. Sci. (Eng.), Director, Research Institute of Blasting Technology and Safety, ilmaslov@mail.ru

Abstract: As the development of solid mineral deposits in the Arctic Zone of the Russian Federation begins, there is a threat of environmental damage caused by the use of ammonium nitrate industrial explosives, i.e. contamination of soils and water sources with nitrate and ammonium nitrogen. The authors consider perhydrol (hydrogen peroxide), an oxidizing agent, which is an alternative to ammonium nitrate, as part of the blended industrial explosives. The paper discusses the composition and presents the results of field testing of this alternative explosive. Prospects of organizing the production of perhydrol immediately at the places of its application are considered for the conditions of industrial sites of mining operations..

Keywords: ammonium nitrate industrial explosives; development of the Arctic Zone; drilling and blasting operations; blended industrial explosives; oxidizer; perhydrol; peroxide, hydrogen peroxide; methanol, spontaneous oxidation of anthraquinone, detonation velocity

микроорганизмы в составе почв, флору и фауну). Газообразные продукты взрыва АСВВ зачастую также могут содержать значительные количества токсичных окислов азота [3].

Основная часть

Весьма актуальной научной задачей является поиск альтернативного аммиачной селитре окислителя – для использования в составе смесевых промышленных ВВ. Целевой критерий такого поиска – экологичность: причинение минимального вреда окружающей природной среде в случае попадания такого ВВ и его компонентов на природные объекты.

Известны взрывчатые составы, где в качестве окислителя применяют азотную кислоту [4]. Однако азотная кислота также содержит токсичный нитрат-ион.

Известны жидкие ВВ, где в качестве окислителя используется перекись водорода (пергидроль) [1, 8]. Пергидроль в высоких концентрациях является токсичным, но не загрязняющим веществом, так как быстро разлагается на безопасные воду и кислород – безвредные для окружающей среды вещества. Попадание высоких концентраций пергидроля на локальные участки природной среды может однократно уничтожить живые объекты, но не приведет к длительному загрязнению местности, где произошел ее выброс, так как пергидроль быстро разлагается. Также и топливный компонент в таких ВВ должен быть экологичным: не загрязнять окружающую среду. В качестве топливного компонента авторы исследовали возможность применения этанола и метанола. Последние также могут служить альтернативой нефтепродуктам в качестве моторных топлив (МТ) для техники на горнодобывающих предприятиях, а это позволяет унифицировать и сократить номенклатуру материалов, закупаемых горнодобывающими предприятиями для обеспечения своей производственной деятельности (когда топливо и для МТ, и для ВВ – один и тот же материал).

При прочих равных условиях технология производства метанола более проста – вследствие чего метанол дешевле. Метанол и этанол подвергаются в природной среде естественному метаболизму водорослями и почвенными микроорганизмами; в отличие от нефтепродуктов, обладая токсичностью только при высоких концентрациях, не приводят к загрязнению почв и водоемов. Например, если в открытое море попадет условно 10 тыс. т метанола, то уже через час на месте разлива его концентрация не превысит 0,36%. А через сутки его будет невозможно обнаружить. После разлива метанола (если такое вдруг произойдет) не будет необходимости в длительной очистке воды, берегов, «отмыкать» животных и птиц, как это происходит при нефтеразливах. Утечки метанола менее опасны, чем утечки бензина, еще и потому, что бензин содержит много токсичных и канцерогенных веществ (например, бензола), которые разлагаются медленно и более длительное время сохраняются в окружающей среде. Нет никаких научных данных о том, что метанол накапливается в биологических объектах; наоборот, он активно метаболизируется в них. Эффективная очистка сточных вод и грунтов от метанола достигается при использовании источников ультрафиолетового излучения (на длинах волн 172 нм (Xe_2 – эксилампа) и 222 нм ($KrCl$ – эксилампа) и метилотрофных бактерий (*Methylomonas methanica* и *Acinetobacter calcoaceticus, biococcum*) – под воздействием вырабатываемых ими ферментов, или же при применении готовых биопрепараторов (в виде высушанных активных биомасс бактерий) в устройствах, оснащенных системами интенсивной аэрации) [9, 10].

Дополнительным аргументом в пользу применения пергидроля в качестве окислителя является прогресс в развитии тех-

нологий производства пергидроля [6], в особенности метода автоокисления антрахинона [2, 7], который возможно реализовать в блочно-модульных производствах непосредственно на местах применения – на промплощадках горнодобывающих предприятий. Это позволит: избавиться от перевозок и хранения больших количеств аммиачной селитры, обнулить опасности и риски аварий, связанных с обращением аммиачной селитры [5, 11].

Результаты исследования

Авторами проведены полигонные испытания зарядов жидкого ВВ на основе 60%-ного пергидроля и метилового спирта с кондиционирующими добавками (состав ВВ приведен в табл. 1):

Таблица 1 Экспериментальный состав пергидроль-спиртового взрывчатого вещества

№	Наименование компонента	Содержание, % масс.	Функционал компонента в составе ВВ
1	Пергидроль, 60%	85,0	Окислитель
2	Метанол, 99%	14,0	Топливо
3	Гуаровая камедь (ГК), порошок	1,0	Топливо, кондиционирующая добавка, повышающая вязкость

При этом первоначально смешивали ГК с метанолом, после чего в полученную суспензию при интенсивном перемешивании вводили пергидроль. В результате образовывался вязкий гель, который нечувствителен к инициирующему импульсу от КД-8. Для повышения восприимчивости к детонационному импульсу полученный гель аэрировали химическим способом. Для чего в качестве газогенерирующего агента (ГГА) применяли 10%-ный водный раствор йодистого натрия, вводя его в количестве до 0,5% в гель. Йод-ион является катализатором химического разложения пергидроля с образованием кислорода (газ) и воды. Равномерно насыщенный микропузьрями газа гель при плотности ниже 1,2 г/см³ становится чувствительным к капсюлю-детонатору. В качестве альтернативы ГГА можно применить водный раствор бихромата натрия (калия), но следует принимать во внимание токсичность соединений хрома. Расчетная теплота взрыва указанного в табл. 1 состава находится на уровне 840 ккал/кг (в случае применения безводного пергидроля – 1400 ккал/кг). Скорость детонации состава ВВ по табл. 1, измеренная реостатным методом прибором HandyTgap III, в заряде длиной 1000 мм диаметром 120 мм, материал оболочки: полипропилен толщиной 2 мм (фановая труба) – составила 4100 м/с при плотности ВВ 1,1 г/см³.

При этом имеется возможность регулирования скорости детонации рассматриваемых смесей за счет варьирования их плотности. Возможны варианты сенсибилизации таких смесей как аэрированием (химическим, механическим), так и введением пористых добавок (пластиковые и стеклянные микросферы, гранулированный пенополистирол и т.п.).

Разработка сульфидсодержащих руд сопряжена с опасностью вступления их в автокаталитическую химическую реакцию с аммиачной селитрой с опасностью разогрева и взрыва. Как показали результаты исследований [12], основную роль в таком взаимодействии играет присутствие ионов трехвалентного железа (Fe^{3+}). В отличие от аммиачной селитры, перги-

дроль разлагается ионами трехвалентного железа (Fe^{3+}) по радикальному, но не по автокатализитическому механизму [13], что также дополнительно повышает безопасность применения пергидрольно-спиртовых смесевых ВВ.

Заключение

Результаты проведенных испытаний показывают большие перспективы пергидрольно-спиртовых смесей в качестве альтернативы аммиачно-селитренным смесевым взрывчатым веществам. Применение зарядов жидких ВВ на основе пергидроля и метанола весьма перспективно, так как позволяет использовать:

- имеющуюся производственно-сыревую базу (пергидроля, метанола);
- имеющиеся смесительно-зарядные машины для эмульсионных ВВ – без их конструктивных доработок.

Сокращаются перевозки аммиачной селитры, сокращаются объемы хранения аммиачной селитры – снижаются риски аварий, связанных с обращением аммиачной селитры.

Технически возможно максимально приблизить производство пергидроля к местам применения: размещая блочно-модульные производства пергидроля (по гидрохиноновому методу) на промплощадках горнодобывающих предприятий, включая их в состав пунктов производства невзрывчатых компонентов промышленных ВВ.

Также достигается высокая экологичность применения пергидрольных ВВ за счет отсутствия в сточных водах и газообразных продуктах взрыва аммоний- и нитрат-ионов; в продуктах взрыва содержатся только вода и углекислый газ.

Температура замерзания у 60%-ного водного раствора пергидроля минус 60 °C, у метанола – минус 90 °C; этот факт позволяет применять пергидрольные ВВ в арктических условиях без дополнительных энергозатрат на подогрев компонентов, производить их холодное смешивание и применять в холодном виде.

Имеются перспективы использования пергидрольных ВВ как на основном взрывании (скважинными и шпуровыми зарядами), так и на специальных работах (контурное взрывание при заряжании взрывчатым веществом скважин на полное сечение низкоплотным ВВ); а также изготовления из них промежуточных детонаторов.

Список литературы:

1. Брагин П.А. Заряд взрывчатого вещества для метательного снаряда, способ приготовления этого заряда и метательный снаряд со взрывчатым веществом (варианты) / Брагин П.А., Маслов И.Ю. [и др.]. М.: Роспатент, изобретение №2627393 по заявке №2016133338 от 12.08.2016.
2. Блумфильд С. Установка для получения пероксида водорода и использующий ее способ / Блумфильд С. [и др.]. М.: Роспатент, изобретение №2616928 по заявке №2014141057 от 28.02.2013.
3. Власова Е.А. Оценка взрывчатых характеристик и газовой вредности промышленных ВВ / Е.А. Власова Е.А. [и др.] // Взрывное дело. Выпуск № 99/56. – М.: ЗАО «МВК по взрывному делу», 2008. – С. 119-136.
4. Добрынин А.А. Взрывчатые вещества. Химия, составы. Безопасность / А.А. Добрынин. – М.: Изд. ИД Академии Жуковского, 2014. – 527 с.
5. Литовка О.Б. Анализ аварий при транспортировке аммиачной селитры водным транспортом / О.Б. Литовка [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. Том XXIII, 2009, №4(97). – С. 84-87.
6. Тихонов А.С. Обзор промышленных методов производства пероксида водорода / А. С. Тихонов [и др.] // Вестник технологического университета. 2017. Т.20, №16. – С. 42-42.
7. Фанденбусье А. Метод производства перекиси водорода / Фанденбусье А. [и др.]. М.: Роспатент, изобретение № 2616701 по заявке № 2014118591 от 02.10.2012.
8. Шамб У. Перекись водорода / У. Шамб [и др.] – М.: Иностранная литература, 1958. – 580 с.
9. Интернет (на 2025.07.01) : <https://mz-don.com/blog/toksichnost-nefteproduktov-i-rastvoritelej-toksichnost-spirtov.html>
10. Интернет (на 2025.07.01) : <https://neftegaz.ru/science/ecology/331712-ch3oh-ekologicheski-riski-i-metody-ikh-predotvratshcheniya/>
11. Интернет (на 2025.07.01) : <https://360.ru/tekst/obschestvo/ljudi-gibnut-pri-vzryvah-ammiachnoj-selitry/>
12. Маслов И.Ю. Вопросы экспериментального обоснования безопасного применения аммиачно-селитренных ВВ в сульфидсодержащих горных породах. Маслов И.Ю., Горинов С.А. В сб. «Взрывное дело» №126/83, М.: МКВД при АГН, 2020.
13. Прайер У. Свободные радикалы. М.: Атомиздат, 1970. С.131-132.



**МУФТА
ПРО**

ООО «МУФТА ПРО»
+7 (499) 394 66 60
muftapro@gmail.com
muftapro.ru / muftapro.com

Системы быстрой заправки

Мы предлагаем:

- Краны топливозаправочные
- Заправочные и вентиляционные клапаны
- Счетчики и насосы
- Заправки (АЗС) и топливозаправщики со скоростью заправки до 1500 л/мин
- Эксплуатация от -60 С до +50 С



16+

РЕКЛАМА

МЕХАНОБР-ТЕХНИКА

РОССИЙСКИЙ РАЗРАБОТЧИК И ПРОИЗВОДИТЕЛЬ ОБОРУДОВАНИЯ
для переработки минерального и техногенного сырья

ПРОМЫШЛЕННОЕ И ЛАБОРАТОРНОЕ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- ДРОБИЛЬНО-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
дробилки различных типов, мельницы, истиратели
- ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ И РАССЕВА
грохоты вибрационные, ситовые анализаторы, сита
- ОБОГАТИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
магнитные и электрические сепараторы, флотомашины, отсадочная машина, концентрационный стол
- ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ И ОСВЕТЛЕНИЯ
фильтры лабораторные, сгуститель
- ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
делители, сократители проб, питатели, столы, подставки



WWW.MTSPB.COM

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ
«МЕХАНОБР-ТЕХНИКА» (АО)

Россия, Санкт-Петербург, 22 линия В. О., д. 3, корп. 5

8 (812) 331-02-43
sales@mtspb.com

8 (800) 550-35-56
(бесплатно по России)

16+

РЕКЛАМА



Компания Headminer: Наша цель – предоставлять заказчикам лучшие решения для разработки месторождений



**Андрей Корнеев,
Генеральный директор
Headminer**

Ferronordic покинул Россию в 2022 г., а новый бренд Headminer вы запустили только сейчас. Почему?

– Это было осознанное решение. Мы сосредоточились на обеспечении устойчивости бизнеса после ухода Ferronordic. В 2022 г. нашим приоритетом было сохранить доверие клиентов и стандарты качества, которые зарекомендовали нас на рынке как надежную сервисную компанию. Мы успешно локализовали бизнес, сохранив экспертизу и технику, а также модернизировали оборудование и расширили команду. Постепенно клиенты и партнеры начали воспринимать нас как независимую компанию. В этот момент мы поняли, что время для нового названия пришло, и родилась идея бренда Headminer.

Почему для российской компании вы выбрали название Headminer? И что изменится с запуском нового бренда?

– Россия остается нашим приоритетным рынком, но мы также планируем выйти на рынки дружественных стран. Название выбрано так, чтобы быть понятным и за пределами России. Наша цель – предоставлять заказчикам лучшие решения для разработки месторождений, и новое название успешно отражает это позиционирование.

Запуск Headminer поможет повысить нашу видимость на рынке, создавая более четкое представление о наших ценностях и услугах. Это позволит клиентам легче нас узнавать и с уверенностью доверять выполнение своих задач.

Расскажите, стало ли проще или, наоборот, сложнее работать в новых условиях?

– Мы столкнулись с вызовами, но рассматриваем их как возможности для развития и улучшения услуг. Нам удалось перестроить систему операционного управления, включая цепочки поставок и центры техобслуживания, что повысило нашу гибкость. Это позволило лучше взаимо-





действовать с клиентами и партнёрами. Сегодня мы быстрее принимаем решения, активнее анализируем обратную связь и внедряем новые решения. Все это формирует мощный импульс для дальнейшего масштабирования.

Как изменились ожидания ваших клиентов за последние три года?

— Ожидания клиентов сместились от акцента на стоимость и сроки к комплексному подходу, надёжности и гарантии результата. Горнодобывающие компании хотят, чтобы поставщики сервисов обеспечивали весь спектр услуг: от подготовки площадки до выполнения всех видов горных работ, включая контроль качества и соблюдение техники безопасности. Также ценится способность быстро подключаться к проекту — за считанные недели, особенно когда критичны сроки запуска и наша оперативность определяет весь производственный цикл.

Как изменился ваш парк техники за последние три года?

— До 2022 г. наш парк в основном состоял из техники Volvo, Caterpillar, Komatsu и Liebherr, что было нашим конкурентным преимуществом. После ухода европейских и американских поставщиков мы быстро адаптировались и перешли на гибридную модель: сохранили ранее приобретённую технику и расширили линейку за счёт других производителей.

Качество горных работ зависит не только от бренда техники, но и от её своевременного обслуживания. Мы инвестировали в собственную сервисную инфраструктуру и создали центры техобслуживания, что позволяет оперативно заменять детали и минимизировать простои. Также мы усилили контроль за наработкой и остаточным ресурсом техники. Все это в совокупности позволяет поддерживать высокий уровень готовности техники даже при сложной конфигурации парка.

Среди ваших услуг есть не только горные работы, но и промышленное строительство. Насколько востребована эта услуга сегодня?

— В настоящее время наблюдается высокий спрос на аутсорсинг не только добычи, но и сопутствующих инфраструктур-

ных проектов, таких как строительство дорог и инженерных объектов на месторождениях.

Ранее такие задачи выполнялись собственными силами, но сейчас заказчики предпочитают привлекать подрядчиков. Это позволяет им сосредоточиться на своей основной деятельности. К тому же в условиях высокого фактора сезонности и нестабильной логистики внешний подрядчик предлагает более гибкие модели. Мы уже успешно реализуем такие проекты в рамках комплексных контрактов и видим возможности для роста в сфере промышленного строительства.

Какое будущее, на ваш взгляд, ждёт сервисные компании в горнодобывающей отрасли?

— Компании, которые могут быстро адаптироваться к изменяющимся условиям рынка и предлагать инновационные подходы, займут лидирующие позиции. Важно также учитывать влияние цифровизации на отрасль — технологии станут неотъемлемой частью процессов, повышая их эффективность и снижая риски.

Совместная работа с заказчиками, готовыми к партнерству, позволит значительно увеличить ценность оказываемых услуг. В итоге те сервисные компании, которые сосредоточатся на создании надежных и долгосрочных отношений с клиентами, смогут добиться успеха в отрасли.



HEADMINER
ГОРНО-СЕРВИСНАЯ КОМПАНИЯ

Подходы к внедрению автоматизированных систем управления горными работами и достижение их приживаемости на горнодобывающих предприятиях

Гогов Рустам, коммерческий директор, «Цифровой горизонт»

Автоматизированные системы управления горными работами (далее АСУ ГР) широко применяются на российских предприятиях в первую очередь для обеспечения безопасности и мониторинга. Однако просто наличие установленной системы не гарантирует желаемого результата.

Базовый функционал любой АСУ ГР позволяет увеличить объем перевозки горной массы и улучшить производственные показатели за счет грамотного распределения ресурсов и реализации корректирующих мероприятий (рис. 1).

Анализ нескольких крупных внедрений АСУ ГР на предприятиях России показал, что в большинстве случаев внедрение систем этого класса обусловлено необходимостью производственного контроля состояния парка горнотранспортного оборудования и выполнения требований по охране труда и промышленной безопасности. Большинство предприятий, к сожалению, пользуются только базовой функциональностью системы, применяя ее для учета объемно-качественных характеристик и простоев, оперативного наблюдения и обеспечения соответствия требованиям Ростехнадзора. Как инструмент для управления операционной эффективностью предприятия АСУ ГР используется крайне редко. Хотя попытки внедрения такого подхода, как сценарное использование системы, на рынке уже встречаются.



Рис. 1 Эффективная эксплуатация АСУ ГР позволяет увеличить объемы ГМ на 10-15% (в рис пп. с одной точкой)

Неполноценное использование системы предприятием может ограничить работу только сбором статистических данных, в то время как основной экономический эффект от внедрения АСУ ГР достигается именно за счет сценарного использования системы. Например, вроде бы понятный функционал сбора статистики с автосамосвалов не даст должного результата, если не проводить разбор полученных данных на оперативном уровне.

Мало просто собрать статистику о работе отдельных участков предприятия. Чтобы достичь установленных ключевых показателей эффективности (КПЭ), необходимо не только внедрить функциональную часть, но и разработать методологию, установить КПЭ для всех участников данного процесса, а самое главное, создать для них процессы влияния.

При таком подходе участники процесса перестают быть просто статистами. С внедрением системы они получают возможность самостоятельно принимать решения и своевременно отслеживать выполнение КПЭ. Так, например, диспетчер фактически становится оператором, который в режиме реального времени видит отклонения от нормативной загрузки и может реагировать, сообщить об этом машинисту экскаватора, водителю самосвала.

Для успешного и эффективного функционирования системы необходимо выстраивать работу по управлению производством на основании операционных рычагов и реализации корректирующих мероприятий для увеличения показателей работы участка горных работ. Именно сценарное использование системы раскрывает весь ее потенциал и дает понимание разницы между просто системой диспетчеризации и системой управления горными работами. Мы не создаем систему мониторинга или систему диспетчеризации. Мы предлагаем инстру-

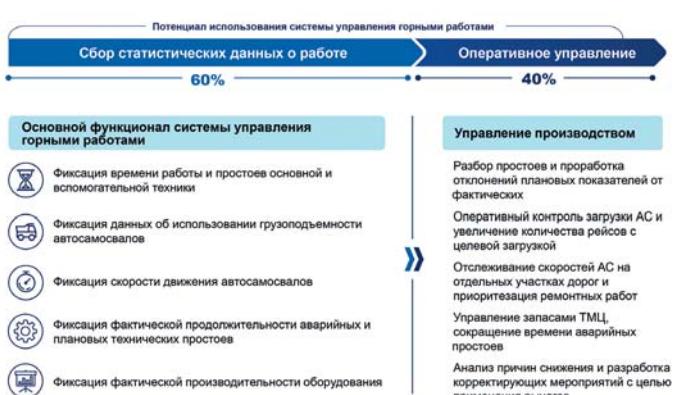


Рис. 2 Использование АСУ ГР только для сбора статистики по работе ГТО не раскрывает полного потенциала системы

мент управления бизнес-процессом. В данном случае процессом ведения горных работ.

При эксплуатации системы инженерно-технические специалисты сталкиваются с пятью ключевыми проблемами, которые мешают эффективно управлять горнотранспортным комплексом.

- 1. Инфраструктура и ПО.** Ключевой критерий приживаемости системы – функциональность и стабильность работы. Стабильная работа системы напрямую зависит от бесперебойной работы всех составляющих элементов – от датчиков, смонтированных на технике, до покрытия сотовой связи и корректности работы отдельных модулей АСУ ГР. Система должна быть доступна 24/7. Должна управлять процессом в режиме реального времени. Все данные, поступающие в систему, должны быть достоверными и своевременными. Если это не обеспечено, то снижается уровень доверия к системе, и она перестает выполнять свою функцию – быть учетной системой и единственным источником «правды».
- 2. Компетенции пользователей.** Зачастую мы видим формальное обучение диспетчеров АСУ ГР. Ключевые пользователи системы, в том числе инженерно-технические специалисты, не получают необходимых знаний для более широкого понимания работы с системой и принципов интерпретации данных как в оперативном формате, так и на длительной дистанции с анализом динамики. Необходимо наладить углубленное обучение пользователей, направленное на формирование навыков анализа данных, их корректной интерпретации и оперативного реагирования на изменения в системе.
- 3. Использование функционала ПО.** Наличие неработоспособных или частично неработоспособных модулей не позволяет полноценно использовать функционал системы. Как и в случае с нестабильной работой инфраструктуры, это подрывает доверие к системе, и пользователи теряют заинтересованность в ее использовании.
- 4. Достоверность данных.** Нестабильность ПО и некорректность некоторых алгоритмов, заложенных в работу некоторых модулей, приводит к потере части данных или к их некорректному расчету, что не позволяет проводить объективную оценку и анализ производственных показателей.
- 5. Интеграция системы.** Отсутствие или неполная интеграция с другими системами на предприятии усложняют формирование отчетности. Возникает необходимость выстраивать автоматизированную отчетность с помощью вспомогательных инструментов для более оперативной обработки статистики и проведения анализа данных и, как следствие, разработки корректирующих мероприятий. Система должна стать неотъемлемой частью рабочих процессов предприятия, гармонично интегрируясь как со смежными системами разного уровня (ГГИС, ERP и др.), так и с ключевыми бизнес-процессами. В первую очередь регламентом должно быть установлено, что АСУ ГР является единственной учетной системой, а все остальные инструменты учета должны быть исключены из использования.

При неправильном использовании системы в определенный момент ее жизненного цикла возникает необходимость принятия решения о дальнейшем ее развитии и модификации. Сценарии могут быть разные: можно купить и внедрить новую, модернизировать существующую, разработать свою. Каждый из этих вариантов имеет свои преимущества и недостатки. Но для любого из них остается актуальным обеспечение приживаемости системы и сценарное ее использование.

- **Покупка и внедрение новой системы** взамен существующей не только не гарантируют решения возникших про-

блем, но и несут в себе крупные затраты на смену бортового оборудования и серверов системы, время на обучение и переподготовку персонала, риски столкнуться с одинаковыми ошибками повторно.

- **Разработка и внедрение собственной кастомизированной системы** не гарантируют достижения конечного результата, но позволяют максимально подстроить функциональность системы под требования предприятия. В случае собственной разработки продукта очень вероятно увеличение бюджета и сроков проекта. Собственное создание технологически сложного решения будет дороже, чем у вендора, т. к. разработка сложных технологических решений не является основной компетенцией предприятия. Полная кастомизация системы является препятствием к оптимизации собственных бизнес-процессов.
- **Модернизация существующей системы** и ее целевое использование на сегодняшний день, на наш взгляд, являются наиболее оптимальным вариантом. Данный подход подразумевает как повышение надежности и увеличение функционала, так и повышение степени использования ПО и углубление его интеграции в цифровое пространство предприятия. Основная задача – построение взаимодействия с вендором для качественной поддержки и развития системы. На старте проекта всегда проводится первичный аудит, в ходе которого выполняется оценка работоспособности и достаточности программного обеспечения, компетенций пользователей ПО, полноты использования функционала системы, уровня работы с данными и их достоверности. После фиксации достижения заявленных целей рекомендуется повторное проведение аудита.

Независимо от выбранного подхода, на этапе внедрения системы, когда одновременно работает проектная команда и задействован административный ресурс, видны высокая вовлеченность заинтересованных сторон и положительные результаты. Но если не созданы процессы, не сформирована методология, не обеспечена приживаемость, после завершения проекта внедрения система, скорее всего, повторит судьбу своей предшественницы и станет неэффективной.

Некоторые предприятия имеют опыт уже более трех внедрений АСУ ГР, но до сих пор не получили полноценной системы управления из-за недостаточного внимания к условиям приживаемости системы. Для решения этой проблемы рекомендуется регулярно проводить аудит системы. Его цель – оценить полноценность использования имеющегося функционала, выявить неиспользуемые критические функции, определить потребности в новом функционале и нехватку компетенций персонала, влияющие на качество мониторинга бизнес-процессов.

Компания «Цифровой горизонт» предлагает предприятиям внедрение решений линейки МАГМА, а также консалтинговые услуги в области аудита текущего использования АСУ ГР, анализа ее функционального покрытия и разработки методологии сценарного использования и требований.



ЦИФРОВОЙ
ГОРИЗОНТ

info@digital-horizon.ru
www.digital-horizon.ru

Будем рады видеть Вас на форуме МАЙНЕКС РОССИЯ 2025 (8-9 октября 2025 года, Москва, Рэдиссон Славянская) на стенде 64 (зал 2) и на наших выступлениях – представим кейсы по проектированию, планированию и контролю горных работ с ПО МАГМА.

ВПЕРЕД К НОВЫМ ЦЕЛЯМ с надежными партнерами

ООО «Колыма Минералз» работает с 2008 г. Компания выросла из коллектива опытных, целеустремлённых представителей горнодобывающих предприятий. Несмотря на все сложности, благодаря дружному и сплоченному коллективу, надежным партнерам мы продолжаем обеспечивать техническую поддержку наших клиентов, которые также, несмотря на все трудности, продолжают свою работу.

Изначально ООО «Колыма Минералз» – официальный дилер европейских компаний Deutz AG, Hermann Paus Maschinenfabrik GmbH, а также официальный представитель Mine Master Sp. z o.o. Компания и сейчас продолжает выполнять свои обязанности перед заказчиками. Мы всегда остаемся неразрывно связанными с производителями и потребителями оборудования для горной промышленности.

В связи с новыми геополитическими реалиями мы нашли новые варианты взаимовыгодного сотрудничества с нашими партнерами. Пройдя непростой и долгий путь в поисках партнеров, мы нашли надежных и проверенных производителей горно-шахтного оборудования в Китае, которые готовы не только продавать технику, но и нести ответственность за предоставленное оборудование в течение всего периода эксплуатации.

Теперь мы рады представить вам наших надежных и проверенных партнеров:

– **Jinchuan Group Machinery Manufacturing Co., Ltd.** – расположена в городе Цзиньчан, провинция Ганьсу, Китай. Это одно из самых мощных предприятий по производству подземного оборудования в Китае.

Производство оборудования Jinchuan Machinery началось в 1995 г. Оно насчитывает почти 30-летнюю историю исследований, разработок, внедрения новых технологий, а также производства и продолжает постоянно совершенствоваться.

Компания сформировала четыре серии продуктов: подземные скреперы, карьерные самосвалы, машины для подземных работ – всего около 30 различных моделей, основные из которых – подземные самосвалы грузоподъемностью от 10 до 45 т, включая полностью электрические модели, а также ПДМ от 2 до 8 м³, включая полностью электрические модели.

– **Laizhou Yatong Heavy Equipment Co., Ltd.** – молодая, но энергичная и мощная компания, с 2010 г. производит горно-шахтное оборудование для широкого спектра предприятий, включая технику в рудничном взрывобезопасном исполнении.

Подземные самосвалы – от 12 до 30 т, ПДМ – от 2,0 до 6,0 м³. Вспомогательное оборудование: машины для перевозки персонала, бетоносмесители, торкрет-установки.

– **Zhangjiakou Xuanhua Huatai Mining & Metallurgical Machinery Co., Ltd.** – с 2000 г. компания занимается производством подземного бурового оборудования и инструмента, включая перфораторы. Также в этом году была выпущена и передана клиенту первая автономная буровая установка с приводом всех агрегатов от дизельного двигателя.

Основой сотрудничества как с клиентами, так и с производителями является сервисная поддержка поставленного оборудования. Несмотря на сложности в связи с экономической и политической ситуацией руководству компании удалось сохранить опытный и сплоченный коллектив, сервисные центры в



Цели и задачи:

- устойчивое развитие;
- сохранение старых клиентов и поиск новых;
- расширение сервисной поддержки;
- поддержание в актуальном состоянии сервисных центров и создание новых, в том числе выездных;
- содержание в необходимом количестве запасных частей для обеспечения собственной сервисной службы и оперативного снабжения клиентов;

Челябинске и Магадане с необходимым объемом запасных частей, заново организовать сотрудничество с надежными производителями горно-шахтного оборудования из Китая, наладить и поддерживать в актуальном состоянии логистические цепочки поставок оборудования и запасных частей, проводить обучение и повышение квалификации сервисных специалистов.

Мы очень ценим наших клиентов, они с пониманием относятся к сложностям, которые, к сожалению, иногда возникают. Но несмотря ни на что наша компания всегда ищет и находит решения при выполнении договорных обязательств, даже в самых сложных ситуациях. Клиенты всегда могут рассчитывать на нас как на надежных и ответственных поставщиков, которые отвечают за свои слова и поступки.

Также мы ценим поддержку заводов-производителей оборудования, которые еще на этапе согласования предложения на оборудование с требуемыми параметрами и опциями стараются максимально удовлетворить потребности клиента, а после поставки готовы оказать всяческую техническую и информационную поддержку, организовать склад необходимых запасных частей на месте эксплуатации.

И наши клиенты, и заводы-производители оборудования всегда могут рассчитывать на нашу поддержку при поставках оборудования в Россию по всем вопросам технического сопровождения в гарантийный и послегарантийный период.



От всей души поздравляем вас с Днём шахтёра, хотим пожелать профессиональных успехов, терпения и удачи в этой нелегкой и опасной профессии. Желаем счастья и благополучия вам и вашим семьям.

ООО «Колыма Минералз»
Заместитель генерального директора Варганов Максим
Коммерческий директор Богачев Алексей
Директор по развитию Горьков Сергей

СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

BELAZ

ГАРАНТИЯ НАДЁЖНОЙ РАБОТЫ ВСЕХ УЗЛОВ ВАШИХ
САМОСВАЛОВ ОТ КОЛЬСКОГО ПОЛУСТРОВА ДО КАМЧАТКИ

- УЛУЧШЕННЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА
- СООТВЕТСТВУЮТ НОВЕЙШИМ ТРЕБОВАНИЯМ
- СПОСОБСТВУЮТ УВЕЛИЧЕНИЮ МЕЖСЕРВИСНЫХ
ИНТЕРВАЛОВ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ
- ГАРАНТИРУЮТ ЗАЯВЛЕННЫЙ РЕСУРС РАБОТЫ АГРЕГАТОВ



По вопросам приобретения обращайтесь по адресу: info@skm-mining.ru

КАК ИЗБЕЖАТЬ ОСНОВНЫХ ОШИБОК взрывников при работе с современными технологиями

Переход горнодобывающего предприятия на использование эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) – это серьезный шаг к повышению безопасности и эффективности ведения современных буровзрывных работ (БВР). Внедрение ЭВВ началось во всем мире более 30 лет назад. В России доля компаний, заинтересованных в этой технологии, стабильно растет. О том, какие ошибки чаще всего допускают взрывники на первых этапах внедрения этого продукта и какие современные технологии помогают их избежать, многократно повысив производительность горных работ, **рассказывает Сергей Мозер, генеральный директор компании ЭВОБЛАСТ Инжиниринг.**

Сергей, мы знаем, что Группа ЭВОБЛАСТ производит эмульсионные взрывчатые вещества, а также является амбассадором этой технологии. Поделитесь, пожалуйста, в чем преимущество данных ВВ?

– Наша компания всегда следует мировым тенденциям в практике ведения БВР и видит свою миссию во внедрении современных технологий в работу российских горнодобывающих предприятий. Так как сегодня мир перешел на использование ЭВВ, а изобретен этот метод в 1960-х годах, нас нельзя назвать инноваторами... Скорее, мы следуем логичному пути перехода с гранулированных взрывчатых веществ на прогрессивные эмульсионные – более стабильные и надежные.

Говоря о преимуществах, важно подчеркнуть, что ЭВВ – это относительно новый продукт в арсенале взрывника, а не равноправный аналог все более устаревающим технологиям. Все компоненты, входящие в его состав, не являются взрывчатыми и соответствуют классу 5.1, а «превращение» во взрывчатое вещество происходит непосредственно в скважине в процессе смешивания. Возможность управления его физико-механическими показателями, такими как вязкость и плотность, обеспечивает большую гибкость в работе взрывника. ЭВВ позволяют обеспечить более высокий уровень безопасности, а их использование снижает негативное воздействие на окружающую среду. Кроме этого, составы эмульсии можно точно «подогнать» под условия рудника, в чем сейчас очень нуждаются российские недропользователи, которые часто ведут работы на давно освоенных объектах с повышенными рисками обрушения породы из-за сейсмического воздействия; либо «подстроить» формулу эмульсионного взрывчатого вещества под особенности химического состава горной породы. Например, для предотвращения законтурного разрушения во время взрывания проходческого забоя можно зарядить ближние к краю ряды шпуров ВВ

меньшей мощности, а основные технологические шпуры – более высокоэнергетичными. Также можно точно определить риски возможной реакции состава ЭВВ с сульфидами.

Какие ошибки чаще всего допускают недостаточно знакомые с технологией специалисты? Отличаются ли они при ведении открытых и подземных горных работ?

– Я бы выделил несколько основных проблем. Во-первых, это неправильный химический состав эмульсионной матрицы, который подбирается на этапе проектирования взрывных работ на основании предварительных горно-геологических исследований объекта. Эта ошибка может вызвать несанкционированный взрыв при неконтролируемой реакции с вмещающими породами и привести к серьезным, даже трагическим последствиям.

Во-вторых, «блок» ошибок связан с качеством бурения и состоянием скважин, а также некорректной работой оборудования, в первую очередь смесительно-зарядной машины (СЗМ). И, в-третьих, нельзя забывать про человеческий фактор. Наиболее распространенной проблемой, к которой приводят



такие недочеты, являются «отказы» – ситуации, когда срабатывают не все заряды. Это непосредственно влияет на качество отбойки и габариты полученной горной массы.

Если говорить о различиях способов ведения БВР, то для подземных горных работ взрывнику требуется более компактное и технологичное оборудование, с помощью которого он сможет контролировать большое количество процессов бурения и заряжания. И, естественно, для различных работ нужны разные составы ЭВВ. Так, в нашем продуктовом портфеле есть полностью локализованные эмульсионные взрывчатые вещества собственного производства – ЭВОСАБ® для подземных горных работ и ЭВОФОР® для открытых горных работ.

Насколько серьезной ошибкой является недостаточное исследование горно-геологического состояния рудника или карьера?

– В первую очередь – это вопрос безопасности персонала, как нашего, так и компании-заказчика. Также это влияет на эффективность работ. Поэтому в Группе ЭВОБЛАСТ мы уделяем особое внимание этому этапу, который крайне важен, например, для выявления реактивных пород. Дело в том, что одной из немногих «уязвимостей» ЭВВ является реакция на сульфиды в составе некоторых руд, например пиритов. Аммиачная селитра при определенных условиях может вступать в экзотермическое взаимодействие с сульфидными минералами. Это взаимодействие приводит к повышению температуры и может вызвать несанкционированный взрыв. Поэтому при малейшем подозрении на такие риски инициируется исследование породы в лабораториях Группы.

А какие ошибки могут привести к отказам?

– Назовем самые распространенные. Причиной отказов может стать то, что специалист не выждал время газификации ЭВВ в скважине – обычно процесс преобразования вещества во взрывчатое занимает 20–30 минут. Это означает, что необходимые химические процессы не произошли или прошли частично. Кроме этого, многие проблемы человек может обнаружить на забое, когда он уже обязан осуществить взрыв за определенное время. Так, иногда часть скважин может оказаться пересыпанной, и взрывник принимает решение зарядить только доступные скважины, тем самым фактически изменения решения проекта БВР и не получая ожидаемого результата от взрыва. Либо скважина может быть пробурена на глубину меньше или больше, чем указано в проекте, и без заблаговременного промера это выяснится только в процессе заряжания.

Какие технологии существуют для минимизации человеческого фактора и повышения эффективности процесса?

– На самом деле, их уже довольно много. Нам со стороны заказчиков регулярно поступают запросы по усовершенствованию техники для подземных горных работ, созданию смесительно-зарядных машин для заряжания восходящих скважин, а также разработки программного обеспечения для управления рабочим процессом и мониторинга. Мы видим, что отрасль сейчас заинтересована в решении таких задач, как: промер глубины

В 2025 г. Группа ЭВОБЛАСТ успешно завершила опытно-промышленные испытания стационарного шкафа управления для смесительно-зарядной машины грузоподъемностью 4 тонны, который оптимизирует процесс заряжания скважин ЭВВ в условиях подземных горных работ. В основе системы лежит отечественное ПО. Контроллер способен провести автоматическое измерение глубины скважины, коррекцию параметров заряжания в реальном времени, контроль последовательности зарядки по блоку и установку промежуточных детонаторов с точным позиционированием по глубине скважины.



скважин, контроль параметров заряжания, возможность установки нескольких промежуточных детонаторов в одну скважину, мониторинг действия оператора в ходе этого процесса. Многие из таких задач можно решить с помощью программируемых комплексов для контроля. Решения являются кастомизированными и разрабатываются с учетом конкретного запроса и условий работы на объекте.

Какие условия ведения горных работ могут снизить качество работы взрывника?

– Это низкие температуры, темное время суток, в том числе полярные ночи, обводненность участков, связанная с таянием льдов в межсезонье. К сожалению, все, что я сейчас перечисляю, – это описание обычного рабочего процесса на 70% рудников России. На холодах или в темноте при проверке монтажной взрывной сети специалист может пропустить неподключенные или неработоспособные детонаторы. Это также приведет к отказам и получению после взрыва фракций руды худшего качества.

Мы видим решение этой проблемы в переходе на новый уровень ведения БВР, который предполагает внедрение электронных систем инициирования взрыва (ЭСИ). С их помощью можно точно реализовать требуемую схему инициирования, расширить сетку с учетом горно-геологических условий рудника, при этом не учитывая фронт инициирования. Благодаря их простой конструкции и отсутствию элементов передачи инициирования на поверхности, на которые могут повлиять внешние факторы – холод или разлет породы, существенно снижаются риски отказов. А для специалиста это еще и возможность быстрее и качественнее выполнить работу с возможностью выгрузки отчета.

Освоение нового всегда требует дополнительного обучения, а горнодобывающая промышленность – отрасль довольно консервативная...

– Считаю, что это миф. Конечно, часть опытных специалистов воспринимают новое с некоторой долей скептицизма. Но повышение квалификации сотрудников является важнейшей задачей предприятия. Например, мы уже более трех лет проводим практико-ориентированный консультационный курс «Безопасное и эффективное ведение взрывных работ» по запросу заказчиков и видим неподдельный интерес к получению новых знаний и навыков у команд взрывников. Так, недавно курс был дополнен разделом по ведению подземных горных работ. Важно, чтобы обучение было действительно полезно и ориентировано на практику. Освоив новые технологии и видя их преимущества, специалисты уже не хотят работать с более традиционными.

В заключение хочу подчеркнуть, что именно профессионализм, стойкость и светлая мысль российских горняков позволят отрасли избежать ошибок и, преодолев трудности, выйти на путь суворенности и роста.

ЭКСКАВАТОР-ТРУДЯГА SHANTUI SE550LCW:

ЯПОНСКАЯ ГИДРАВЛИКА KAWASAKI
И РЕКОРДНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ WEICHAI
НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ



Компания Shantui Construction Machinery (дочерняя Shandong Heavy Industry Group – SHIG) специализируется на производстве горной и дорожно-строительной техники. Портфель продукции включает: бульдозеры, экскаваторы, карьерные самосвалы, ковшовые погрузчики, вилочные погрузчики, дорожные катки, автогрейдеры, асфальтоукладчики, дорожные фрезы, ресайклеры, компакторы, трубоукладчики, бетонные и асфальтовые заводы, автобетоносмесители, дробильно-сортировочное оборудование, электрическую технику, системы 3D-нивелирования.

Вертикальная интеграция SHIG

Shantui входит в конгломерат Shandong Heavy Industry Group (SHIG). Ключевые производители группы:

- **Weichai:** двигатели (мировой лидер), коммерческие автомобили Shacman, судовые двигатели Baudouin;
- **Linde:** гидравлические компоненты (критичны для экскаваторов);
- **FAST:** трансмиссии;
- **HANDLE AXLE:** мосты (ключевой элемент шасси);
- **Sinotruk Group:** коммерческий транспорт (тягачи, самосвалы);
- **Asiastar:** автобусы;
- **KION Group:** складское оборудование (погрузчики, штабелеры).

Shantui в России: лидер рынка

Экскаваторы Shantui заняли значительную долю российского рынка строительной техники, входя в число самых востребованных брендов. Узнаваемость и доверие к марке растут ежегодно. Ключевое преимущество – широчайший модельный ряд: от мини-экскаваторов (от 1,6 т) до тяжелых (до 200 т), с планами выпуска 300-тонных моделей до конца 2025 г. и 400-тонных – в 2026 г.

Флагманский класс: 50-тонные модели

50-тонные гусеничные экскаваторы Shantui – надежные и производительные машины, которые незаменимы:

- в строительстве;
- в горнодобывающей отрасли.

**Shantui SE550LCW**

В 2025 г. Shantui представила обновленный гидравлический гусеничный экскаватор SE550LCW, который сочетает в себе передовые инженерные решения для долговечности и эффективности в сложных условиях.

Сфера применения

Экскаваторы Shantui применяются повсеместно:
на земляных работах и разработке пород (грунт, скальные/горные породы);
для перемещения сыпучих материалов;
в жилищном и дорожном строительстве.

Инженерные инновации для надежности

Выносливость	патентованные решения оптимизируют конструкцию рабочего оборудования, уменьшая усталостные напряжения и увеличивая ресурс
Адаптация	резинотехнические изделия заменены на износостойкие компоненты, работающие при температурах до -50°C
Сварка	роботизированные технологии обеспечивают: • увеличенную глубину проплавления; • одностороннюю сварку с двухсторонней формовкой; • ультразвуковую проковку сварных швов для упрочнения;
Результат:	увеличенный срок службы сварных соединений
Контроль:	качество сварных швов проверяется лазерным оборудованием

Устойчивость и проходимость:

Ходовая часть

Конструкция	прочная X-образная рама
Гусеницы	две гусеничные ленты шириной 600 мм.
Стабильность:	большая опорная длина (5495 мм) обеспечивает исключительную устойчивость при погрузочных работах на сложных и неустойчивых грунтах.



Технические характеристики и производительность

55-тонный экскаватор SE550LCW имеет следующие параметры:

Габариты:	– длина: 11,8 м – ширина: 3,6 м – высота (по оборудованию): 4,2 м – высота (по кабине): 3,5 м
Двигатель:	мощность 562 кВт (при 1900 об/мин) обеспечивает высокую производительность.
Рабочее оборудование:	
Базовая конфигурация (для плотности 1800 кг/м³):	– стрела: 6,9 м – рукоять: 3,0 м – ковш: 3,2 м ³ (для карьеров и загрузки самосвалов)
Альтернативная конфигурация (для плотности ~1500 кг/м³):	– стрела: 6,5 м – рукоять: 2,55 м – усиленный ковш: 3,6 м ³ (для легких грунтов)
Техническая производительность	составляет более 320 м ³ , благодаря мощному двигателю и оптимизированной гидросистеме.
Глубина копания	обеспечивает большую глубину черпания
Проходимость	удлиненная рама гусеничного хода повышает устойчивость на сложном рельефе

Комфорт и безопасность оператора

Кабина SE550LCW устанавливает новые стандарты комфорта:

Простор и защита	самая большая кабина в классе, сертифицированная по стандартам ROPS/FOPS (защита при опрокидывании и падении предметов).
Климат-контроль	эффективные кондиционер и отопитель.
Обзор и защита	высокое расположение (~1,5 м от земли) обеспечивает отличный обзор. Штатная защита лобового стекла и решетка на крыше.
Эргономика	регулируемое сиденье и подлокотники для индивидуального комфорта
Управление:	гидравлические джойстики для точного контроля оборудования
Информативность:	четкая приборная панель для контроля всех систем
Шум	уровень шума в кабине не превышает 74 дБ(А), что снижает утомляемость оператора.

Технические характеристики Shantui SE550LCW

Эксплуатационная масса	ДВС	Объем ДВС	Гидравлический насос / производительность насосов	Гидравлический насос / производительность насосов	Гидромоторы хода
53,5 т	Weichai WP 14 рядный 6-цилиндровый	13,5 л 764 л.с. /562 кВт / 1900 об/мин Tier 3	Kawasaki K7V240D 2×432 л/мин	Kawasaki K7V240D 2×432 л/мин	Kawasaki K7V240D 2×432 л/мин
Редуктор хода	Глубинакопания, max	Габариты, DxШxВ	Ковш скальный	Усилие копания на ковше / рукояти, max	Длина стрелы/рукояти
Kawasaki M5X250CHB	7120 мм	12210 x 3450 x 4030 мм	3,2 м ³	310/285кН	6,9 м/3 м

Ключевые преимущества Shantui SE550LCW

- 1 Минимизация затрат на владение**
 - низкая стоимость обслуживания по сравнению с конкурентами;
 - гарантиированная доступность запчастей через 82 авторизованных сервисных центра в России.
- 2 Интеллектуальный контроль и диагностика**
 - функция самодиагностики отслеживает состояние ключевых узлов;
 - информация выводится на 7-дюймовый цветной дисплей в кабине.
- 3 Интеллектуальное управление и эффективность**
 - система управления синхронизирует работу всех компонентов;
 - высокая экономичность топлива благодаря увеличению общего КПД.
- 4 Сердце мощности**

Оптимальное согласование гидравлики Kawasaki и двигателя Weichai WP14:

 - объем: 13,5 л;
 - мощность: 562 кВт (при 1900 об/мин) – лидер в классе 50-тонных экскаваторов.
- 5 Надежная и плавная гидравлика**
 - гидравлическая система Kawasaki обеспечивает высокую надежность и плавную работу
- 6 Комфорт и безопасность оператора**
 - автоматический климат-контроль поддерживает комфортную температуру;
 - шумоизолированная кабина для безопасной и тихой работы;
 - регулируемое сиденье с подставкой для ног;
 - камера заднего вида для повышения безопасности.
- 7 Универсальность**

Совместимость с широким спектром навесного оборудования:

 - централизованная система смазки с подогревателем топлива;
 - mega-рыхлитель, гидромолоты, вибропогружатели и др.

Универсальность применения и проверенная долговечность

Экскаватор Shantui SE550LCW популярен благодаря универсальности и надежности в различных условиях. Его используют для:

- разработки, перемещения, погрузки/разгрузки материалов:
 - жесткие материалы (взорванные скальные породы, строительный мусор);
 - специализированных операций:
 - разрыхление твердых горных пород;
 - работка с промерзшим грунтом.

Ресурс для самых сложных условий

Одно из ключевых преимуществ SE550LCW – выдающийся срок службы, рассчитанный на интенсивную эксплуатацию:

- подтвержден в реальных условиях горнодобывающей отрасли;
- сохраняет надежность при работе в суровых климатических условиях, включая морозостойкие решения, актуальные для России.

Гибкость конфигурации и надежный партнер в России

Экскаватор Shantui SE550LCW предлагает гибкость конфигурации:

Дополнительные опции: установка разнообразных опций по желанию заказчика.

• Цели опций:

- повышение надежности машины в специфических условиях эксплуатации;
- обеспечение дополнительного удобства и безопасности для оператора.

Наша компания предлагает самую привлекательную цену на экскаваторы Shantui SE550LCW.

Гарантия на ДВС Weichai составляет 5 лет или 10 000 моточасов, на все остальные детали 2 года или 6000 моточасов.

**Ваш партнер в России:
комплексные решения от СтройИмпортТехника**



Данный экскаватор, как и другие модели техники Shantui, можно приобрести на одном из почти 100 складов компании СтройИмпортТехника на территории России или получить консультацию по телефону 8-800-700-03-30 в любое время – 24 часа в сутки.

ГОРНАЯ ТЕХНИКА

- САМОСВАЛЫ – до 240 тонн
- ЭКСКАВАТОРЫ – до 200 тонн
- БУЛЬДОЗЕРЫ – до 107 тонн



СТРОЙИМПОРТТЕХНИКА



РЕКЛАМА 16+



тел.: 8 800 700-33-86
shantui-sit.ru

SHANTUI
VALUE THAT WORKS

К 70-ЛЕТИЮ СЕРГЕЯ ВЯЧЕСЛАВОВИЧА ЛУКИЧЕВА

Интервью с директором Горного института КНЦ РАН С.В. Лукичевым



В этом году директор Горного института Кольского научного центра Российской академии наук (КНЦ РАН), доктор технических наук, член-корреспондент РАН Сергей Вячеславович Лукичев отмечает свой юбилей – 70 лет.

В нашем интервью Сергей Вячеславович делится воспоминаниями о жизненном и профессиональном пути, рассказывает о достижениях института, а также о планах и перспективах на будущее. Это беседа с человеком, чья энергия и преданность науке вдохновляют коллег и учеников.

Сергей Вячеславович, примите искренние поздравления с юбилеем!

Расскажите, пожалуйста, о своём жизненном пути. Как Вы пришли к выбору профессии? Что повлияло на решение связать свою жизнь с горным делом и наукой?

– Выбор профессии произошёл случайно. Я сдавал вступительные экзамены в МИФИ, и мне для поступления не хватило одного балла. В приёмной комиссии был представитель МГИ, который предложил поступить на физико-технический факультет института, что я и сделал. Считаю, что это было пра-

вильное решение, о котором я ни разу ни пожалел. Мне всегда было интересно изучать что-то новое, находить практические решения с использованием математических методов. А для этого научная деятельность подходит наилучшим образом.

Какие этапы в вашей профессиональной карьере Вы считаете самыми важными и определяющими?

– Академическая наука даёт возможность выбора траектории профессионального развития. У меня был выбор между экспериментальным и теоретическим направлением. Я выбрал направление, связанное с изучением механизма действия взрыва в массиве горных пород с использованием методов численного моделирования. Вторым важным этапом было решение занять-

Биографическая справка

Сергей Вячеславович Лукичев родился 2.09.1955 г. в г. Угличе Ярославской области. Окончил в 1979 г. Московский горный институт (МГИ) по специальности горный инженер-физик. В качестве соискателя подготовил и защитил в 1987 г. кандидатскую диссертацию. В 2000 г. защитил докторскую диссертацию на тему «Управление подземными массовыми взрывами при отбойке руд с использованием компьютерных технологий». В 2015 г. был избран исполняющим обязанности, а затем и директором Горного института КНЦ РАН, кем остается по настоящее время. В мае 2025 г. по итогам выборов Общего собрания РАН Сергей Вячеславович избран членом-корреспондентом РАН по Отделению наук о Земле.

Сегодня Сергей Вячеславович Лукичев известный ученый в области разработки цифровых технологий и информационных систем для решения задач горного производства, автор 219 научных работ, двух монографий и 19 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ.

К основным научным результатам Сергея Вячеславовича можно отнести: разработку концепции цифровой трансформации горнодобывающих предприятий, включающую четыре этапа последовательного перехода от автоматизации решения отдельных задач горной технологии до формирования цифрового двойника горно-обогатительного предприятия; разработку методологической основы создания Горной цифровой платформы и её поэтапную реализацию на базе горно-геологической информационной системы MINEFRAME, используемой на десятках горнодобывающих предприятий и являющейся альтернативой импортным программным продуктам данного класса.

Сергей Вячеславович – член Высшего горного совета Ассоциации «НП «Горнопромышленники России», действительный член Академии горных наук России, эксперт РАН, член редколлегии журнала «Горная промышленность».



ся разработкой горно-геологической информационной системы MINEFRAME, работа над развитием которой длится уже 28 лет.

С какими чувствами Вы вспоминаете своё первое знакомство с Горным институтом КНЦ РАН? Как началась Ваша работа в этом научном учреждении?

– Работа в институте началась с того, что мне предложили работать не по той специализации, по которой я заканчивал МГИ. Меня определили в лабораторию взрывного разрушения горных пород. В этом прослеживается некоторая ирония судьбы. В дипломе у меня было только две оценки «Удовлетворительно» – остальные «Хорошо» и «Отлично». Удовлетворительные оценки были по взрывному делу и программированию. В результате я всю свою научную деятельность посвятил именно этим направлениям.

Каковы были основные вызовы и задачи, которые стояли перед Вами в период становления в качестве руководителя института? Удалось ли их реализовать?

– Для любого руководителя важно иметь команду единомышленников. Мне в этом плане повезло, т.к. удалось такую команду сформировать. Во многом этому помогло и то, что все мои заместители понимают важность развития научных направлений, связанных с цифровой трансформацией горнодобывающей отрасли, что для нас является общей областью научных интересов.

Как Вы оцениваете вклад института в развитие Кольского региона и в решение актуальных задач горной отрасли России?

– Институт был создан в первую очередь для научного обеспечения горнодобывающей отрасли Мурманской области, а сами направления научной деятельности формировались исходя из потребностей горных предприятий региона. По сути все самые серьёзные решения по добыче и обогащению руд Кольского полуострова принимались с учётом рекомендаций Горного института КНЦ РАН. И здесь хотелось бы отметить роль предыдущих директоров института – чл.-корр. РАН И.А. Турчанинова и акад. Н.Н. Мельникова, которым удалось выстроить хорошие отношения со всеми горнодобывающими предприятиями.

Какие перспективы и стратегические цели Вы видите перед институтом в ближайшие годы?

– В институте за 64 года существования сформировались три основных научных направления: геомеханика, обогащение

полезных ископаемых, цифровые технологии. Стратегическая цель развития института видится в формировании методологии и инструментов создания цифрового двойника горнодобывающего предприятия как способа повышения эффективности освоения месторождений твёрдых полезных ископаемых.

Под вашим руководством были успешно защищены несколько диссертаций. Какие качества, по вашему мнению, особенно важны для молодого учёного и его научного руководителя?

– Для молодого учёного наиболее важное качество – целеустремлённость, а для научного руководителя – умение сформулировать актуальное направление докторской работы. Понимание практической пользы работы даёт хороший стимул для её выполнения.

Что для Вас значит 70-летний юбилей – это повод подвести итоги или, скорее, наметить новые горизонты?

– Для меня это скорее наметить новые горизонты. Есть идеи, которые хотелось бы реализовать.

Чем Вы особенно гордитесь в своей профессиональной и научной деятельности? Какие проекты наиболее близки Вам?

– Так получилось, что моя профессиональная деятельность связана с горными цифровыми технологиями, поэтому их развитие для меня является приоритетной задачей.

Есть ли у Вас увлечения или занятия, которые помогают сохранять жизненный баланс и вдохновение?

– Никаких особых увлечений типа рыбалка, охота, путешествия нет – всего понемногу.

И в завершение – что бы Вы хотели пожелать своим коллегам, ученикам и молодому поколению учёных?

– Значительная часть нашей жизни связана с работой, поэтому хотелось бы пожелать интересной, творческой работы, которую как раз и может предоставить научная деятельность.

Интервью с директором Горного института КНЦ РАН
Сергеем Вячеславовичем Лукичевым
подготовила и провела руководитель отдела
специальных проектов журнала «Горная промышленность»
Никитина Елена Владимировна



VI Всероссийская научно-техническая конференция
**«ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ГОРНОМ ДЕЛЕ»**

2–6 июня 2025 г. в Горном институте КНЦ РАН прошла VI Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГОРНОМ ДЕЛЕ».



С 2017 г. конференция «Цифровые технологии в горном деле» проходит на регулярной основе один раз в два года при содействии ОНЗ РАН. В составе оргкомитета конференции представители академической науки, горнодобывающих предприятий, учреждений высшего горного образования.

Конференция проведена при финансовой поддержке ФИЦ КНЦ РАН, ООО «Лаборатория МАЙНФРЭЙМ», ООО «ГЕОСУППОРТ».

Информационная поддержка конференции оказана Издательским домом «Руда и металлы», медиа-ресурсом «Первый геологический канал», журналами: «Записки Горного института», Горный журнал Казахстана, «Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых», «Арктика: экология и экономика», «Золото и технологии», «Горная промышленность», «Глобус: геология и бизнес», «Рациональное освоение недр», «Север и рынок».

В работе конференции приняли участие 107 человек. Среди них 2 академика РАН, 1 – член-корреспондент РАН, 13 докторов наук, 33 кандидата наук, 12 представителей академических институтов, 20 – промышленных предприятий и компаний, 3 – высших учебных заведений, 2 – профильных СМИ.

Участниками конференции было сделано 63 доклада, из них 7 пленарных.

В пленарных докладах была показана растущая роль цифровых технологий в горнодобывающей отрасли в контексте импортозамещения и технологической независимости России, озвучены проблемы и задачи создания и применения цифровых решений для повышения эффективности и безопасности горных работ, представлены принципы построения цифровой системы управления горным производством на горных предприятиях, приведены примеры применения цифровых технологий для геомеханического сопровождения горных работ.



Работа конференции была организована по двум секциям. Первая секция объединила два направления: «Цифровые технологии и компьютерное моделирование объектов и процессов горного производства для решения задач эффективной и безопасной отработки месторождений полезных ископаемых» и «Цифровые технологии в геомеханическом обеспечении горных работ». На секции было заслушано 46 докладов, в которых были отражены вопросы цифровизации горного производства, представлены результаты фундаментальных и прикладных исследований в области применения цифровых технологий для решения задач проектирования, планирования и управления горными работами, вопросы геомеханического мониторинга и моделирования геомеханических процессов при ведении горных работ открытым и подземным способом.

Вторая секция объединила направления «Цифровые технологии для решения задач повышения полноты и комплексности извлечения полезных ископаемых из рудного и техногенного минерального сырья» и «Цифровые технологии и компьютерное моделирование в решении экологических проблем горной отрасли». На секции были представлены доклады, посвященные вопросам развития средств мониторинга природных экосистем, результатам численного моделирования взаимодействия тонкодисперсных минеральных частиц, разработкам программного обеспечения для исследования минералогического состава горных пород с использованием компьютерного зрения, исследованию процесса флотации на основе моделирования методами гидрогазодинамики, развитию методических основ оценки эффективности цифровизации горнодобывающих предприятий.

В рамках конференции был проведен мастер-класс, посвященный вопросам развития и применения программных продуктов ООО «Лаборатория МАЙНФРЭЙМ».

По итогам конференции отмечается растущая вовлеченность в процессы цифровой трансформации горного производства как со стороны научных организаций, так и со стороны горнодобывающих предприятий.

Конференция считает необходимым:

1. Выразить благодарность за поддержку в организации конференции Кольскому научному центру РАН, ООО «Лаборатория МАЙНФРЭЙМ», ООО «ГЕОСУППОРТ».
2. Выразить благодарность за информационную поддержку: Издательскому дому «Руда и металлы», журналам «Записки Горного института», Горный журнал Казахстана, «Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых», «Арктика: экология и экономика», «Золото и технологии», «Горная промышленность», «Глобус: геология и бизнес», «Север и рынок», «Рациональное освоение недр» и медиа-ресурсу «Первый геологический канал».
3. Считать целесообразным развитие отечественной горной цифровой платформы, упрощающей процесс интеграции цифровых инструментов в геоинформационную среду горнодобывающих предприятий для ускорения работ по импортозамещению горного программного обеспечения.
4. Рекомендовать формирование правил построения моделей выемочных единиц, в рамках которых определять методологию и расчетную схему определения потерь и разубоживания при оконтуривании залежи для облегчения экспертизы долгосрочных планов ведения горных работ.
5. Отметить актуальность использования методов искусственного интеллекта и нейронных сетей для построения моделей управления обогатительными аппаратами и технологическими процессами обогащения полезных ископаемых.
6. Продолжить практику проведения конференции в Горном институте КНЦ РАН с периодичностью один раз в два года.

Ф.С. Клебанов

АДЕЙЛОГИЯ. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ БЕЗОПАСНОСТИ: Монография

– М.: Издательство «Горная книга», 2025. -124 с. ISBN 978-5-98672-589-5

16+

Монография является началом целого научного направления «Теория управления рисками», которое сегодня активно развивается в России. Для студентов и аспирантов вузов, обучающихся по специальности «Безопасность и экология горного производства», научных и инженерно-технических институтов и организаций, работающих в области экологической безопасности и безопасности жизнедеятельности.

Автор монографии **Феликс Семенович Клебанов** (1927–2016) – выдающийся ученый, горный инженер, доктор технических наук, профессор, действительный член РАЕН, известный своими работами в области рудничной вентиляции и безопасности горных работ.

В монографии (первая редакция была издана в 2010 году) изложена научная теория безопасности человека на основе анализа опасных факторов в общественной жизни и в техносфере. Дан видовой смысл понятию безопасности, в содержании которой автор раскрывает широкий спектр дифференциации образов потенциальных опасностей.

Описаны ситуации и события, предшествующие авариям, приведены методики расчета рисков и их снижения, методы оценки вероятности чрезвычайных ситуаций. Рассмотрены социальные вопросы в проблеме охраны труда и безопасности. Детальное описание ситуаций и событий, предшествующих авариям, методики расчета рисков и их снижения, методы оценки вероятности чрезвычайных ситуаций подробно разбираются в монографии.

По вопросам приобретения книги обращаться:
pr@mining-media.ru, тел.: +7 (499) 237-03-11



25 лет СТТ ЭКСПО — главная выставка строительной техники и технологий России

Итоги 5-й юбилейной конференции «Будущее горной промышленности»

27–30 мая 2025 г. в Москве прошла 25-я юбилейная выставка СТТ Экспо – крупнейшее событие строительной отрасли России. Мероприятие традиционно стало местом встречи производителей, поставщиков, специалистов отрасли и собрало более 1700 экспонентов и свыше 80 тыс. посетителей, установив новые рекорды по масштабам и деловой активности.

Второй выставочный день СТТ Экспо традиционно проходил под знаком «День горнодобывающей отрасли». 28 мая 2025 г. журнал «Горная промышленность» провел 5-ю юбилейную конференцию «Будущее горной промышленности». В этом году также отмечают юбилеи: выставка СТТ – 25-летие, а журнал «Горная промышленность» – 30-летний юбилей.

Конференция прошла при поддержке Ассоциации «НП «Горнопромышленники России», Академии горных наук, Ассоциации «Горнопромышленники Карелии», Торгово-промышленной палаты Мурманской области/Северная.

Официальные приветствия в адрес конференции получены от Министерства промышленности и торговли РФ, Министерства энергетики РФ, Министерства природных ресурсов РФ, Министерства промышленности и торговли Республики Карелия, а также от Заполярного государственного университета, Кузбасского госу-

дарственного технического университета, Сибирского государственного индустриального университета и Уральского государственного горного университета.

Открыл конференцию В.А. Язев, Президент Ассоциации «Горнопромышленники России», главный редактор журналов «Горная промышленность» и «Горная промышленность. Юниор», д-р экон. наук.

С приветственным словом к участникам конференции обратился вице-президент Академии горных наук России С.И. Шумков.

Председатель Ассоциации «Горнопромышленники Карелии» П.Н. Анисимов, приветствуя участников, отметил, что, говоря о независимости отечественной горной отрасли от импортной продукции, необходимо делать акцент не на реинжиниринг, а на технологическое лидерство России и важность ее включения в мировое сообщество. Иначе создать технологический суверенитет в эпоху инноваций невозможно.





Генеральный директор компании «СИГМА Экспо» Сергей Александров, директор выставки СТТ Анна Шорина и директор департамента бизнес-мероприятий Марина Бадулина поздравили журнал с 30-летием и пожелали конференции успешной работы.

В рамках торжественной церемонии открытия конференции состоялось подписание соглашения о стратегическом партнерстве между Ассоциацией «Некоммерческое партнерство «Горнопромышленники России» и Ассоциацией Организаций Строительного Комплекса.

В церемонии подписания приняли участие Президент Ассоциации «НП «Горнопромышленники России» В.А. Язев и Президент Ассоциации Организаций Строительного Комплекса А.А. Белёвцев.

Президент Ассоциации «НП «Горнопромышленники России» В.А. Язев вручил ряду специалистов нагрудные знаки «Горнопромышленники России – 25 лет» за вклад в развитие горной промышленности России.

Елена Анистратова, руководитель оргкомитета Дня горнодобывающей отрасли, поблагодарила медиапартнеров за активную поддержку мероприятия. В этом году ими стали журналы «Золото и технологии», «Горный журнал», «Рациональное освоение недр», ГИАБ, «Основные средства», «Маркшейдерия и недропользование», «Металлы Евразии», «Инженер и промышленник сегодня», «Нефтегазовая вертикаль», «СТТ дайджест»; телеграм-каналы «На-Гора», «Угольная аналитика»; интернет-порталы «Экскаватор.Ру», «ПрофиМайнер»; АНО «Женщины в современной индустрии».

Главная тема конференции 2025 года: «Технологическая независимость российской горной отрасли».

Большая часть вопросов конференции касалась импортозамещения и цифровизации горнодобывающей промышленности.

Главный научный сотрудник Горного института КНЦ РАН (директор по развитию ООО «Система максимум») К.Ю. Анистратов, в своем докладе «Задачи отечественного горного машиностроения» отметил, что российские горнодобывающие предприятия, ведущие

щие разработку месторождений открытым способом, являются зависимыми от поставок: карьерных гидравлических экскаваторов с ковшом 4–35 м³ и канатных – с ковшом 35–50 м³ (100%-ная зависимость). Объем импорта достигает 350 ед. экскаваторов в год – более 100 млрд руб. в год. Потребность в жесткорамных карьерных самосвалах грузоподъемностью 30–300 т с колесной формулой 4x2, 6x4, 8x4 составляет свыше 2000 ед. в год. До 2023 г. доля поставок карьерных самосвалов БЕЛАЗ составляла более 70%, остальной объем закрывали машины зарубежного производства.

Уход западных производителей карьерной техники: карьерных экскаваторов, самосвалов, колесных погрузчиков – с российского рынка предоставил китайским компаниям возможность занять нишу поставщиков горного оборудования. В 2023-2024 гг. увеличилось количество карьерной техники китайских брендов: Sitrak, XCMG, Sany, LGCE, LiuGong, Zoomlion, Lonking, Shantui.

Китайские производители в сегментах карьерных внедорожных самосвалов грузоподъемностью 50–80 т с колесной формулой 6x4, 8x4 и 90–300 т жесткорамных двухосных карьерных самосвалов 4x2 постоянно повышают конструктивное качество карьерной техники, а также применяют демпинговую ценовую тактику на целевых рынках.

Мировой тенденцией является рост применения роботизированного горного оборудования, в первую очередь карьерных самосвалов. По состоянию на 2023 г. в мире парк роботизированных карьерных самосвалов производства мировых лидеров Caterpillar, Komatsu, TAGE, Hitachi составил порядка 2100 ед. грузоподъемностью в основном 150–400 т.

Потребности в современных буровых станках для геологоразведки и буровзрывных работ для карьеров в основном закрываются продукцией АО «Копейский машиностроительный завод», АО «Рудгормаш», ООО «ИЗ КАРТЭКС им. П.Г. Коробкова», «Алмазгеобур», АО «Завод бурового оборудования», использующих на данном этапе базовые компоненты: двигатели, гидравлику, компрес-

соры – зарубежного производства. Замещение всего спектра типов и моделей горного и транспортного оборудования мировых производителей техникой китайского производства в ключевых сегментах карьерных экскаваторов и самосвалов, а также внедрение цифровых систем управления ими является стратегическим риском для российской экономики с учетом ее доли в мировой добыче полезных ископаемых и емкости рынка оборудования для горнодобывающих и перерабатывающих предприятий России.

Основные задачи российского машиностроительного комплекса заключаются в организации серийного производства канатных карьерных экскаваторов с полезной весовой нагрузкой 60–100 т (35–50 м³), гидравлических экскаваторов с ковшами 4–35 м³, оснащаемых цифровыми системами автоматизации погрузки, роботизированных карьерных самосвалов жесткорамных 4S2 грузоподъемностью 90–400 т, многоосных внедорожных самосвалов с колесной формулой 6S4, 8S4 грузоподъемностью 40–100 т для обеспечения оборудованием горнотранспортных комплексов отечественных карьеров, а также в перспективе стран ближнего и дальнего зарубежья.

Для решения этих задач требуется разработка и реализация государственной программы развития горного машиностроения России, имеющей целью освоение серийного производства современного роботизированного горного и транспортного оборудования для отечественных горнодобывающих предприятий открытым и подземным способом разработки месторождений твердых полезных ископаемых.

Директор по производству ООО «НТЦ-Геотехнология» О.Ю. Савельев обозначил перспективы совершенствования техники и технологий при отработке мощных рудных месторождений. «Преодоление негативных тенденций возможно за счет роста производственной мощности горнодобывающих предприятий, что невозможно без развития и совершенствования горной техники и геотехнологий, направленных на рост емкости ковша экскаваторов и грузоподъемности автосамосвалов при сохранении их геометрических размеров, внедрение роботизированных и дистанционно управляемых (автономных) горнотранспортных машин, электрифицированного транспорта и транспорта на газовом топливе. Задачей особой стратегической важности является создание в сжатые сроки российского машиностроительного комплекса, способного серийно и в необходимом количестве выпускать такое оборудование», – подчеркнул эксперт.

Говоря о тяжелых условиях работы в Арктике, И.В. Зырянов, заведующий кафедрой горного дела Политехнического института СВФУ города Мирный, обратил внимание коллег и на то, что при низких температурах (а речь идет о 60–70° ниже нуля) редкая техника способна выдерживать нагрузки, и неважно, западные это бренды, китайские или отечественные. Практически все машины нуждаются в доработке на месте. Поэтому в настоящее время особенно важна не просто господдержка, но федеральная программа «Техника на территориях экстремально холодного климата», которая позволит как выработать необходимые стандарты для машиностроения, так и провести ряд испытаний в рабочих условиях.

Кроме того, И.В. Зырянов подчеркнул, что при отработке рассыпных месторождений в криолитозоне количество отказов ходовой части карьерных самосвалов в теплое время года в 2 раза больше, чем в зимний период. Данный факт необходимо учитывать при конструировании машин и эксплуатации. Заслуживают внимания разработки, выполненные в ИРНИТУ, в части определения остаточного ресурса основных узлов карьерных автосамосвалов с применением современных математических моделей за короткий период нахождения машин на линии (до 250 мото-часов), а также с применением природоподобных технологий для обоснования параметров рабочего оборудования экскаваторов типа прямая механическая лопата.

Член Общественного совета при Министерстве по делам развития Дальнего Востока и Арктики Ю.В. Зворыкина отметила: несмотря на проекты, запущенные крупными игроками рынка, такими как АК «АЛРОСА», «Норникель» или «Росатом», по созданию своих технологий и машин большой грузоподъемности «отечественные заводы пока не способны обеспечить внутренний спрос, поскольку зачастую растягивают срок выполнения заказа (от 6–8 месяцев при обычном и от 1,5 года при индивидуальном проектировании)». Им не хватает локализации производств, а также инвестиций в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) для разработки импортозамещающих компонентов.

Впрочем, участники конференции тут же разделились на два лагеря. Крупные производители, такие как КАМАЗ, БЕЛАЗ и ЧЕТРА, на которых уже сегодня легла основная нагрузка и кому государство наиболее охотно выделяет помочь, рассказывали о готовых решениях, в то время как более мелкие участники рынка обозначали проблемы и делились интересным опытом межотраслевого сотрудничества.

Так, В.С. Антонов, исполнительный директор ООО «ЧЕТРА», сообщил, что к 2030 г. отечественная техника способна занять 50% рынка. Ведь уже сегодня его компания предлагает дешевые бульдозеры (с учетом господдержки покупатель экономит до 27% средств), сравнимые по качеству с зарубежными.

К.А. Кравченко, зам. генерального директора по карьерной технике АО «Торгово-финансовая компания «КАМАЗ», рассказал, что и его предприятие, находясь в числе лидеров, предлагает сбалансированные линейки техники для любых задач. В первую очередь Кравченко говорил о двух «семействах»: «Атлант» (усиленные шоссейные и жесткорамные карьерные самосвалы грузоподъемностью от 32 до 100 т) и «Геркулес» (шарнирно-сочлененные самосвалы), а также о наиболее перспективном семействе «Юпитер» (жесткорамные карьерные самосвалы, способные вмещать от 90 т, с применением беспилотных систем).

По словам Б.П. Горбунова, директора по сервису АО «ТД «БЕЛАЗ», среди тяжеловесов (грузоподъемностью 218–255 т) «Белорусский автомобильный завод» тоже уверенно занимает 53,1% рынка и не планирует останавливаться на достигнутом, стремясь к освоению новых сегментов горнотранспортного оборудования. Поэтому его компания предлагает карьерные самосвалы, работающие как на сжиженном природном газе, так и на аккумуляторных батареях (АКБ), полностью роботизированные и гибридные модели, совмещающие АКБ с двигателем внутреннего сгорания или водородными ячейками. Также возможны поставки и дизель-троллейвозов. Помимо прочего, сегодня любой «Белаз» может быть оснащен интеллектуальной системой мониторинга и прогнозной аналитики IMS (с помощью смартфона владелец автопарка способен узнать не только о состоянии каждой машины, но и спрогнозировать время выхода из строя ее деталей и узлов).

А.М. Ушаков, директор по развитию «Азоттех» (компания 17 лет занимается буровзрывными работами) заверил, что российские производители полностью отвечают потребностям покупателей, нуждающихся в технике для производства взрывных работ, предлагая отечественное смесительно-зарядное оборудование, уникальные, в том числе запатентованные инженерные решения, свои производственные площадки и IT-продукты по автоматизации процессов.

В то же время А.К. Медведев, генеральный директор оренбургского АО «Завод бурового оборудования» заметил: «Вот послушал я коллег и вижу, что живу будто в другой стране, у них все хорошо, а я бы так не сказал. Ведь, чтобы быть полезными отрасли, мы должны производить надежное горное оборудование, а запчастей и комплектующих для силовой гидравлики у нас нет». Также Медведев отметил, что сталкивается с трудностями практически на каждом шагу, начиная со сбербанковской «Промышленной ипо-

теки» (сейчас по программе можно модернизировать разве что склад, а актуальное обустройство цеха будет считаться нецелевым использованием средств) и заканчивая более серьезными финансовыми вопросами. Сегодня в России главенствует постоплата. А для приобретения гидравлических материалов и комплектующих нужны оборотные средства, но выдаваемые кредиты под 25–26% с учетом сроков поставки (некоторые растягиваются до 300 дней) превращают такие закупки в «золотые».

Недостаточной экспертизы в отрасли коснулся В.А. Ракитин, генеральный директор ООО «ЕРТ-Групп» (ведущая российская компания по обеспечению предприятий горнодобывающей промышленности оборудованием и комплектующими, золотой партнер конференции). По его мнению, западные стандарты заменили советские ГОСТы, и теперь, с уходом основных производителей, перед отечественным машиностроением остро встал вопрос экспертизы. Чтобы ответить на него, необходимо создать экспертное объединение, которое поможет наладить диалог с государством, сплотит ученых, вузы и предприятия. Такой подход поможет создать необходимый уровень оценки, разобраться с кадрами, а также сократить затраты заводов на разработки.

Ракитина поддержал и С.А. Колотов, директор Кемеровского машиностроительного завода (предприятие производит оборудование для горной добычи, сохраняя фокус на системе вентиляции шахт, и в этом году выступило как серебряный партнер конференции). Колотов сообщил об успешном опыте интеграции науки и производства. Благодаря тесному сотрудничеству с экспертами действительно удается снизить затраты на НИОКР, повысить квалификацию персонала, ускорить вывод инноваций на рынок и в итоге получить уникальный продукт. Например, его компания создала новый шахтный осланцеватель с пневмоприводом и опробовала его на одной из выработок Кузбасса, разработала шахтный высоконапорный вентилятор местного проветривания и создала лебедку повышенной грузоподъемности для перемещения тяжестей в выработках шахт с большим углом залегания пластов.

Опытом стратегического партнерства как в плане импортозамещения, так и в вопросе тесного сотрудничества науки и крупного бизнеса поделились генеральный директор ООО «Лаборатория Майнфрейм» О.В. Наговицын и руководитель проектов АК «АЛРОСА» С.А. Казьмин. Российская группа алмазодобывающих компаний с 2022 г. применяет отечественное программное обеспечение MINEFRAME, предназначеннное для автоматизации процессов геологии, маркшейдерии, проектирования и планирования горных работ, и совершенно довольна результатом.

Немало внимания на конференции уделили и вопросу цифровизации. «Отечественные цифровые технологии на горнодобывающих предприятиях России» – тема второй сессии конференции. Модератором дискуссии выступил М.А. Соннов, действительный член Академии горных наук России, заместитель генерального директора ООО «Фидесис».

Проблемы все те же – уход западных поставщиков. Однако, по мнению руководителя практики производственных систем «Цифровой горизонт» Р.А. Гогова, все не так страшно, сегодняшний обзор рынка показывает небольшой процент внедрения технологий, предоставляемых ушедшими брендами. Поэтому отрасль спасет постепенная модернизация и переход на отечественный софт.

С.И. Матвеев, коммерческий директор ООО «РД Групп» (компания – лидер в области создания и продвижения инновационных электронных систем контроля, программного обеспечения и информационных сервисов), заметил, что сегодня основной причиной несчастных случаев становится человеческий фактор (иными словами, 60% ошибок при аварии допускают люди), роботизация отрасли просто необходима. Поэтому «РД Групп» предлагает множество способов решить эту проблему. Так, внедрение системы кругового обзора в 360 градусов позволит крупногабаритному

транспорту разворачиваться в ограниченном пространстве; камеры с обучаемым ИИ распознают объекты вблизи и помогут избежать аварии; радарные системы обнаружения, а также различные приборы контроля дадут возможность оценить опасное состояние водителя (например, алкогольное опьянение) и по мимике выявить степень его усталости.

А.Е. Румянцев, заведующий лабораторией геотехники ООО «Институт Гипроникель», поддержал Матвеева, заметив важность комплексного подхода к решению проблем проектирования. Сегодня необходим серьезный анализ данных о природном состоянии горного массива еще в предпроектном состоянии. Цифровизация в этом смысле поможет обезопасить труд и проконтролировать состояние пород до начала и в процессе ведения работ.

Много говорилось на конференции и о технологических разработках.

М.А. Соннов, заместитель генерального директора ООО «Фидесис», предложил использовать российское программное обеспечение для решения задач горной отрасли, и в частности отечественный инженерный софт нового поколения CAE Fidesys, позволяющий производить расчеты задач геомеханики и геотехники, а также решать задачи прочности при проектировании горной техники. CAE Fidesys имеет интеграции с большинством российского и иностранного ПО в классе CAD и CAE систем и ГИС.

А.В. Терёхин, генеральный директор ООО «Цифровой рудник», рассказал о создании технологии применения беспроводной связи на глубине до четырех километров в подземных рудниках.

К.М. Волковский, операционный директор ООО «Скайер ИТ», сообщил о разработке собственной цифровой платформы Skyeer IT, предназначеннной для мониторинга горнодобывающих объектов на основе данных с беспилотников. Платформа предназначена для обработки и анализа данных аэрофотосъемки, обработки и анализа данных, полученных с беспилотников. Skyeer позволяет построить цифровой двойник карьера и в веб-интерфейсе платформы проводить любые измерения объекта с высокой точностью – объем выемки породы, геометрические параметры карьерных дорог и пр. Специализированный модуль Skyeer «Карьерные дороги» позволяет в автоматическом режиме осуществлять разметку внутрикарьерных дорог на основе ортофотоплана объекта. Таким образом, появляется возможность учитывать ключевые параметры дорог: ширину дорожного полотна, значения поперечных и продольных уклонов, наличие ориентирующих валов вдоль дорог, и классифицировать дороги по показателям безопасности и эффективности использования.

Обсуждались на конференции и алгоритмы прогнозирования остаточного ресурса основных узлов карьерных самосвалов, и улучшенные принципы разработки экскаватора с прямой механической лопатой, и технологические решения, способные контролировать состояние шин в автопарке, а также многое-многое другое. Но, как верно заметил один из модераторов, отлично, если у нашей горной промышленности появится исключительно российская техника, но еще лучше, если у всех машин (вне зависимости от страны производства) будет отечественное программное обеспечение, что позволит не только стабилизировать, но и успешно развивать отрасль.

Подводя итоги конференции, участники выразили готовность принять участие в деловой программе Дня горнодобывающей отрасли в 2026 г. Редакция журнала «Горная Промышленность» и компания «СИГМА Экспо Групп» начали подготовку к следующему мероприятию.

Ждем Ваших предложений и заявок на участие:
event@mining-media.ru



21-Й ГОРНЫЙ ФОРУМ И ВЫСТАВКА МАЙНЭКС РОССИЯ МАРАФОН ВОЗМОЖНОСТЕЙ

8 - 9 октября 2025 года,
Москва, Рэдиссон Славянская

УСЛОВИЯ УЧАСТИЯ



16+

minxrussia.ru

Цифровые двойники процессов управления высокоавтоматизированными горнотранспортными комплексами

А.Ф. Клебанов✉, И.В. Еремкин, П.А. Габусу
ГК «ЦИФРА», г. Москва, Российская Федерация
✉ aleksey.klebanov@zyfra.com

Резюме: В статье рассмотрены вопросы разработки и применения цифровых двойников в задачах горного производства. Анализируются определения и эволюция понятия «цифровой двойник», отмечается, что цифровые двойники уже давно используются при автоматизации (цифровизации) горных работ и процессов управления горнотранспортными комплексами, однако технологии Индустрии 4.0 наполняют их новыми смыслами и свойствами на современном этапе. Обосновывается программно-аппаратная инфраструктура удаленного аналитического центра для построения широкого спектра цифровых двойников процессов управления высокоавтоматизированными (роботизированными) горнотранспортными комплексами и применения их в проектных и образовательных целях («фабрика цифровых двойников»). Важнейшими составляющими такого удаленного аналитического центра являются горно-геологические информационные системы, автоматизированные системы управления горнотранспортными комплексами с ретроспективной базой данных работы системы на горном предприятии, а также симуляторы процессов управления погрузочно-доставочными комплексами и буровзрывными работами. Выделяется несколько классов цифровых двойников высокоматематизированных (роботизированных) горнотранспортных комплексов: цифровые двойники, основанные на обработке телеметрической и горнотехнической информации в режиме реального времени; цифровые двойники для подготовки образовательных программ на основе исторических баз данных; цифровые двойники для решения задач планирования и проектирования горных работ, проверки гипотез и сценарного моделирования. Обсуждается возможность применения опыта построения цифровых двойников горного производства в задачах космической индустрии для отработки перспективных технологий и оборудования добычи полезных ископаемых на других планетах.

Ключевые слова: цифровой двойник, высокоматематизированные горнотранспортные комплексы, буровзрывные работы, погрузочно-доставочные комплексы, цифровая трансформация, удаленный аналитический центр управления, роботизированные технологии, проектирование горных работ, планирование горных работ, сценарное моделирование, горнотехнические системы, горно-геологические информационные системы, Индустрия 4.0

Благодарности: Авторы выражают благодарность директору Горного института КНЦ РАН, чл.-корр. РАН С.В. Лукичёву, научному руководителю Института космических исследований РАН, академику РАН Л.М. Зеленому, сотрудникам Института космических исследований РАН: чл.-корр. РАН М.Л. Литваку; д-ру физ.-мат. наук Н.А. Эйсмонту; науч. сотр. В.А. Котцову за ценные рекомендации и экспертизу. Также благодарим сотрудников ГК «Цифра»: С.А. Степанова, канд. физ.-мат. наук Н.В. Одинцева и канд. техн. наук Р.В. Федоренко за важные замечания и советы при подготовке материалов статьи.

Для цитирования: Клебанов А.Ф., Еремкин И.В., Габусу П.А. Цифровые двойники процессов управления высокоматематизированными горнотранспортными комплексами. *Горная промышленность*. 2025;(4):61–70. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-61-70>

Digital twins of control processes for highly automated mining transport complexes

A.F. Klebanov✉, I.V. Eremkin, P.A. Gabusu
Zyfra Group, Moscow, Russian Federation
✉ aleksey.klebanov@zyfra.com

Abstract: The article discusses the development and application of digital twins for mining production tasks. Various definitions and the evolution of the “digital twin” concept are analyzed, and it is noted that digital twins have long been used in the automation (digitalization) of mining operations and management processes. However, the Industry 4.0 technologies are currently providing the digital twins with new meanings and properties. The paper justifies the software and hardware infrastructure of a remote analytical center to build a wide range of digital twins of control processes for highly automated (robotic) mining transport complexes and their application for design and educational purposes (“a digital twin factory”). The most important components of such a remote analytical center are mining and geological information systems, automated control systems for mining transport complexes with a historical database of the system's operation at a mining company, as well as simulators of control processes for load-and-haul complexes and drilling-and-blasting operations. There are several classes of digital twins

of highly automated (robotic) mining transport complexes, i.e. digital twins based on real-time processing of telemetric and mining technical information; digital twins for preparation of educational programs using historical databases; digital twins for solving mining planning and design tasks, hypothesis testing, and scenario modeling. The possibility is discussed to apply the experience of building digital twins of mining operations to tasks in the space industry for developing promising technologies and equipment for mining minerals on other planets.

Keywords: digital twin, highly automated mining transport complexes, drilling and blasting operations, load-and-haul complexes, digital transformation, remote analytical control center, robotic technologies, mining design, mine planning, scenario modeling, mining engineering systems, mining and geological information systems, Industry 4.0

Acknowledgments: The authors express their gratitude to S.V. Lukichev, director of the Mining Institute of the Kola Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, to L.M. Zeleniy, scientific director of the Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, and to the staff of the Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences: M.L. Litvak, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, N.A. Eismont, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, V.A. Kotzov, Research Associate, for their valuable recommendations and expertise. We also gratefully acknowledge the staff of the Zyfra Group: S.A. Stepanova, N.V. Odinets, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, and R.V. Fedorenko, Candidate of Technical Sciences, for their valuable comments and advice during the preparation of this article.

For citation: Klebanov A.F., Eremkin I.V., Gabusu P.A. Digital twins of control processes for highly automated mining transport complexes. *Russian Mining Industry*. 2025;(4):61–70. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-61-70>

Введение

Цифровая трансформация открытых горных работ (ОГР) и перспективы широкого применения автономных и дистанционно-управляемых автосамосвалов и другой карьерной техники, «готовой к роботизации» (autonomous ready) – бульдозеров, грейдеров, экскаваторов, буровых станков [1] – обуславливают целесообразность расширения понятия (термина) «высокоавтоматизированное транспортное средство» (BATC), часто употребляемого для транспорта общего пользования¹, на горнотранспортные комплексы (ГТК), выполняющие в карьерах и угольных разрезах буровзрывные работы (БВР), погрузку и транспортировку горной массы к местам складирования или дальнейшей переработки. В общем случае термин «высокоавтоматизированные горнотранспортные комплексы» (ВА ГТК) применим для ГТК горных предприятий, которые используют для управления производственным циклом платформенные цифровые решения и автоматизированные системы управления. Роботизация технологических процессов для таких предприятий – это вопрос ближайшего будущего, и карьерная техника оснащена программно-аппаратными комплексами контроля эксплуатации и передачи данных, отвечающими всем требованиям «высокой автоматизации» Индустрии 4.0.

Развитие цифровой трансформации в горном деле носит эволюционный характер и за последние три десятилетия были пройдены несколько этапов, связанных с развитием и широким внедрением в промышленность высокопроизводительной вычислительной техники; горно-геологических информационных систем (ГГИС); технологий спутниковой навигации; беспроводных систем передачи данных и технологий интернета вещей (IoT), сенсорной аппаратуры и робототехнических систем; методов анализа Больших данных [2; 3]. Основными направлениями развития цифровых технологий горной отрасли на ближайшие годы являются роботизация горной добычи; организация удаленных центров управления; развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ) и цифровых двойников (ЦД)² [4].

1 Распоряжение Правительства РФ от 28 апреля 2018 г. №831-р (ред. от 22.02.2019). СЗ РФ. 2018 №19. Ст. 2804

2 Натрусов Н., Садардинов И., Емельченко С. Цифровизация горно-металлургической отрасли России в 2024 году. Долгосрочный оптимизм и высокие цели [Яков и Партнеры. Материалы деловой программы выставки Mining World Russia 2024]. Режим доступа: https://yakov.partners/upload/iblock/67c/cjwhz656wjsfn0up1ze8ka8qg7uxpprm8/20240423_Digital_mining.pdf (дата обращения: 07.04.2025).

Цифровые двойники горного производства

Рассмотрим более подробно возможные варианты создания цифровых двойников применительно к процессам управления ВА ГТК. Следует отметить, что понятие «цифровой двойник», широко распространившееся в горной отрасли в последние годы (так же как и «цифровая трансформация»)³ [5–7], носит настолько широкий характер, что требует уточнения и конкретизации в каждом конкретном случае реализации того или иного проекта. Впервые термин «цифровой двойник» упоминается в 2010 г. в отчете NASA о моделировании и симуляции копии космического корабля [8]. Одна из наиболее общепринятых трактовок понятия «цифрового двойника» определяет его как цифровую (виртуальную) непрерывно адаптируемую модель любых объектов, систем, процессов или людей, точно воспроизводящую форму и действие оригинала и синхронизированную с ним⁴ [8]. В горной отрасли понятие ЦД тесно связано с концепцией цифрового горного предприятия, представляющего собой упорядоченное множество взаимосвязанных цифровых моделей (цифровых аналогов) геометрических пространственных объектов, технологических процессов и оборудования горного производства (горнотехнических систем) с коммуникационными связями в режиме реального времени [2; 9; 10]. Иными словами, цифровое горное предприятие – это совокупность цифровых двойников (цифровых копий, аналогов) объектов и процессов, помогающих моделировать и визуализировать горное производство. Цифровой двойник – это постоянно меняющаяся сущность (цифровой профиль) объекта или процесса цифрового горного предприятия, основанная на огромном объеме исторических и актуальных данных, позволяющих управлять цифровым горным предприятием и оптимизировать его работу. С этой точки зрения цифровыми двойниками процессов управления и поддержки принятия решений являются широко применяемые на производстве системы ГГИС и АСУ ГТК, составляющие основу экосистемы цифрового горного предприятия. АСУ ГТК (АСУ ВА ГТК) является «цифровым советчиком» для

3 Цифровой двойник горного предприятия. Все и немного больше. Добывающая промышленность, 4 февраля 2022 г. Режим доступа: <https://dprm.online/mining/tsifrovoy-dvoynik-gornogo-predpriyatiya/?ysclid=matgs5dj8s644156894> (дата обращения: 07.04.2025).

4 Что такое цифровые двойники и где их используют. РБК Тренды. Индустрия 4.0. Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/6107e5339a79478125166ebe> (дата обращения: 07.04.2025).

диспетчера горного предприятия и в режиме реального времени оптимизирует работу горного оборудования. Однако эту систему сложно использовать в реальном режиме времени (не нарушая организационные регламенты работы предприятия) для целей обучения или поиска наиболее оптимальных вариантов по расстановке, составу оборудования и объектов горного производства (отвалов, фабрики, конвейеров). В первом случае, для образовательных целей, целесообразно использовать исторические ретроспективные данные работы АСУ ГТК (АСУ ВА ГТК) за определенный период времени и в режиме проигрывателя (симулятора) организовывать процесс обучения на реальных данных ОГР. Во втором случае, для моделирования различных сценариев развития ОГР, оптимального выбора количества/состава парка оборудования и оценки эффекта от внедрения операционных улучшений – необходимо создание цифрового двойника производственного процесса для возможности имитационного моделирования вариантов проектирования, планирования и эксплуатации горного предприятия, например, в системе MineTwin или ГИС MINEFRAME [11; 12]. Такое имитационное и математическое моделирование, как метод научного исследования сложных физических процессов и технических систем – вычислительный эксперимент, – широко применялся еще в 80-х годах прошлого столетия [13; 14] и объекты вычислительного эксперимента (ранее употреблялось понятие «математическая модель») вполне можно было бы назвать цифровыми двойниками процессов или систем. Однако развитие технологий цифровой трансформации наполняет понятие «цифровой двойник» новым содержанием: цифровой двойник технологического процесса горного производства дает возможность в режиме оперативного управления или имитационного моделирования проводить анализ массивов исторических и актуальных

данных работы объекта или технологического процесса, позволяет вносить корректирующие алгоритмы и строить прогнозные модели работы оборудования. Платформенные (интеграционные) цифровые решения; промышленный интернет вещей (ПоТ), программные симуляторы, применяемые для авто/авиа тренажеров и в игровой индустрии; имитационное моделирование; машинное обучение (ML) и методы искусственных нейронных сетей для анализа больших данных при моделировании технологических процессов открывают широчайшие возможности применения цифровых двойников для сквозной оптимизации всей производственной цепочки работы горного предприятия и создания удаленных центров управления ВА ГТК [4]. Именно в этом состоят тренд и перспективы развития технологий цифровых двойников в горной отрасли на современном этапе. Разработка новых цифровых двойников – это «сборка пазла» путем наращивания функционала уже известных цифровых двойников цифрового горного предприятия или формирования более широкой сети коммуникационных связей между ними. Несомненной также является и необходимость разработки и применения цифровых двойников в образовательных программах как наиболее удобного и гибкого инструментария для обучения инженеров на реальных практических данных работы горных предприятий. Удаленный центр управления интеллектуальным горным предприятием (аналитический центр) может стать «фабрикой цифровых двойников» для решения задач оптимизации производства и развития образовательных программ (рис. 1). Прогнозы помошью ЦД различных сценариев горных работ, проверка гипотез и подготовка кадров на основе реальных практик горного производства позволят экономить компаниям значительные ресурсы.



Рис. 1
Удаленный аналитический центр интеллектуального горного предприятия – «Фабрика цифровых двойников»

Fig. 1
A remote analytical center of a smart mining company:
“Digital Twin Factory”

Цифровые двойники процессов управления высокоматематизированными горнотранспортными комплексами

Цифровые двойники процессов управления ВА ГТК (ЦД ВА ГТК) могут применяться в удаленных аналитических центрах интеллектуального горного предприятия для оптимизации ОГР и для обучения технологиям цифрового горного планирования и управления (оперативного, среднесрочного, стратегического). Такие удаленные аналитические центры возможно организовать на базе научно-исследовательских институтов и университетов горного профиля, располагающих высококвалифицированными кадрами в области математического моделирования и цифровых технологий управления [4]. Возможны различные конфигурации программно-аппаратных комплексов аналитического центра. Один из вариантов подробно рассмотрен в [4, 15]. На сервере удаленного аналитического центра устанавливается цифровой двойник процессов оперативного управления ОГР – программное обеспечение АСУ ГТК, например, системы «КАРЬЕР», которая применяется на многих предприятиях горной промышленности [16]. Программы обучения методам и технологиям оперативного управления могут быть реализованы в режиме реального времени при дистанционном управлении ОГР: для этого необходимы организация защищенной линии (канала) связи между предприятием и аналитическим центром и согласование регламента процессов обучения, исключающих вмешательство в работу диспетчерской службы. Образовательные программы могут быть также организованы в аналитическом центре с использованием массивов исторических данных работы АСУ ВА ГТК за выбранный промежуток времени. Процедура построения цифрового двойника может быть следующей:

- на сервер ЦД устанавливается ПО АСУ ГТК;
- создаются и заполняются справочники цифрового двойника в соответствии с текущими справочниками предприятия (состав и расстановка оборудования, положение горных работ, складов и мест разгрузки автосамосвалов);
- формируются базы данных работы ВА ГТК и телеметрической информации за выбранный период (смена, месяц, год);
- подготавливается «снимок» состояния системы с телеметрией (дамп) для проигрывания в удаленном аналитическом центре;
- на сервере АСУ ГТК настраивается проигрыватель ЦД, который в режиме реального времени публикует телеметрию в ПО АСУ ГТК, подменяя время на текущее;

Реализация в ЦД функционала АСУ ГТК «КАРЬЕР» позволяет обучающимся в удаленном аналитическом центре студентам, аспирантам и специалистам горных компаний пользоваться учетными функциями АСУ ГТК, наблюдать за прогрессом перевозок горной массы, картой рабочего времени, отклонениями от плановых заданий по объему/качеству и другим функционалом системы. Также возможно формировать наряд на смену с учетом доступности техники и персонала; паспорта загрузки автосамосвалов; плановых показателей работы экскаваторов.

На основе всестороннего анализа исторических данных в ЦД процессов управления ВА ГТК можно реализовать также функции построения прогнозных моделей производительности, производственной безопасности и эксплуатационной надежности работы оборудования (см. рис. 1,) – для образовательных и консультационных целей.

Программно-аппаратную инфраструктуру удаленного аналитического центра возможно расширить за счет цифровых двойников горного предприятия на базе ГИС (например, отечественной системы MINEFRAME), с функциями имитационного моделирования и планирования горных работ. Программное взаимодействие ЦД процессов управления ВА ГТК с ЦД ГИС (см. рис. 1,) позволит решать проектные и учебные задачи по планированию горных работ (оперативному, среднесрочному и перспективному), проводить сценарный анализ развития горных работ и подтверждать выполнимость планов (с тем или иным составом парка оборудования) на любой период жизненного цикла предприятия.

Таким образом, можно выделить два класса ЦД процессов управления ВА ГТК:

1. Цифровые двойники «реального времени» – цифровые системы управления и контроля эксплуатации ВА ГТК (АСУ ГТК; цифровые советчики водителей автосамосвалов и операторов ПДК; системы: предотвращения столкновений и контроля бодрствования водителей [17]; автоматизация буровзрывных работ и гранулометрического состава взорванной горной массы; контроля качества дорог; удаленного контроля диагностических и эксплуатационных параметров работы ВА ГТК [18] и др.);
2. Цифровые двойники ВА ГТК для решения задач проектирования и планирования горных работ, которые также можно применять для подготовки и переподготовки инженерных кадров в университетах и на производстве.

В самом общем виде работу ЦД процессов управления ВА ГТК можно описать следующими уравнениями:

$$\bar{Y}_{DT}^{exp} = F(\bar{X}_{on}, \bar{X}_{off}, \bar{X}_{GIS}); \quad (1)$$

$$\bar{Y}_{DT}^{des} = F(\bar{X}_{on}^{virt}, \bar{X}_{off}^{virt}, \bar{X}_{GIS}^{virt}); \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N a_i * Y_{DT}^{exp,desi} \rightarrow max, \quad (3)$$

где a_i – весовые коэффициенты целевой функции; N – число критериев оптимизации ЦД; $Y_{DT}^{exp,i}$ и $Y_{DT}^{des,i}$ – соответственно целевые показатели (критерии) оптимизации ЦД систем управления и контроля ВА ГТК (при эксплуатации) и при проектировании (планировании, имитационном, моделировании); \bar{X}_{on} и \bar{X}_{off} – соответственно телеметрические (online) параметры систем управления ВА ГТК (ПоТ) и параметры ретроспективной (исторической) базы данных телеметрии (BigData) за выбранный промежуток времени; \bar{X}_{GIS} и \bar{X}_{GIS}^{virt} – соответственно геометрические и геотехнологические параметры цифровой модели месторождения – реальной и виртуальной (для имитационного моделирования):

$$(\bar{X}_{GIS}, \bar{X}_{GIS}^{virt}, \bar{X}_{on}) \in G, \quad (4)$$

где G – допустимая область значений параметров цифровой модели и виртуальных параметров телеметрии при имитационном моделировании.

Решение прямой и обратной оптимизационной задачи (3) позволяет установить оптимальные параметры геотехнологии (ширина дорог, уклоны, угол откоса бортов карьера, скорости автосамосвалов и др.) при проектировании ОГР с применением безлюдных технологий и обучении студентов/аспирантов/горных инженеров современным технологиям цифрового проектирования, а также оптимизиро-

вать (с применением соответствующих коэффициентов a_i) в режиме реального времени грузоперевозки (в открытом цикле) с точки зрения требований управления качеством полезного ископаемого, безопасности, производительности, простоты в очередях и других критерии.

В свою очередь, расширение диапазонов допустимой области имитационного моделирования G (4) позволит перейти к моделированию (с помощью ЦД ВА ГТК) процессов управления роботизированными транспортными комплексами в условиях, принципиально отличающихся от традиционных горно-геологических и горнотехнических условий ведения ОГР, например, при освоении ресурсов других планет.

Цифровые двойники (симуляторы) процессов управления высокоавтоматизированным погрузочно-доставочным комплексом

Для отработки роботизированных технологий и обучения навыкам управления ВА ГТК удаленный аналитический центр необходимо оснастить также универсальным стендом рабочего места оператора (РМО) автономного и дистанционного управления ВА погрузочно-доставочным комплексом (ПДК) и буровзрывных работ (БВР) (см. рис. 1, □).

Разработанное ГК «ЦИФРА» рабочее место оператора позволяет дистанционно контролировать и управлять работой автономной техники различного типа: автосамосвалами, колесными погрузчиками и буровыми станками⁵.

В аналитическом центре в презентационных и образовательных целях возможно удаленное подключение РМО к автономной и дистанционно-управляемой технике, работающей на горном предприятии. Для отработки роботизированных технико-технологических решений и применения РМО в ежедневном учебном процессе необходима программная реализация ЦД процессов управления ВА ПДК (ЦД ВА ПДК). Разработанный цифровой двойник (симулятор) представляет собой виртуальную среду участка ОГР (рис. 2) на базе программного обеспечения (движка) UE 5.3. Для создания ЦД ВА ПДК импортируются концептуальные модели (с помощью BIM, CAD и ГГИС) либо сканируются физические объекты ОГР для их визуализации и анализа с учетом информации от ПоТ. Помимо высокого качества построения (прорисовки) цифровой модели ОГР и создания фотoreалистичных материалов с необходимыми параметрами расположения объектов ПДК, в том числе анимационных, ЦД позволяет также:

- проводить точную настройку параметров (масса, скорость, мощность, грузоподъемность и т.п.) и достоверно симулировать физическую модель и техническое состояние карьерной техники (рис. 3);
- настраивать взаимодействие карьерной техники с окружающей средой (процедурная генерация ландшафта) и моделировать колею, искусственные неровности, обвалы и прочие нештатные ситуации на участке дороги;
- моделировать различные сценарии работы техники, программировать отказы, поломки и т.п.;
- собирать и обрабатывать за счет внешних программных средств, например АСУ ГТК, статистические данные по каждой единице техники (расход топлива, время прохода маршрута, скорость при маневрах и т.п.);

⁵ В рамках научно-технической Программы Союзного государства «Интелавто», ГК «ЦИФРА» разрабатывает рабочее место оператора автоматизированного погрузочно-доставочного комплекса с поддержкой функции челночного движения высокоавтоматизированного самосвала.



Рис. 2
Виртуальная среда 3D-модели участка открытых горных работ

Fig. 2
Virtual environment (a 3D model) of a surface mining site



Рис. 3
Отображение оперативной информации на экране рабочего места оператора высокоавтоматизированным погрузочно-доставочным комплексом

Fig. 3
Visualization of operating data on the operator's workstation screen of a highly automated load-and-haul complex

– симулировать автономное движение автосамосвала по заданной (запрограммированной) траектории и применять методы ИИ в управлении карьерной техникой;

– реализовать глубокую интеграцию с органами управления на РМО;

– подключать внешние базы данных для моделирования различных ситуаций.

Разработанный ЦД процессов управления ВА ПДК может быть применен в качестве виртуального испытательного полигона для отладки новых функций ВА грузоперевозок, проводить сценарный анализ эффективности управления парком автономной и дистанционно-управляемой карьерной техники. Исходными данными для построения виртуального полигона и ЦД процессов управления ВА ПДК могут стать ретроспективная БД от ЦД ВА ГТК (на базе АСУ ГТК «КАРЬЕР») и ЦД ГГИС MINEFRAME, реализованные в том же удаленном аналитическом центре (см. рис. 1, □□□□). Также ЦД ВА ПДК на базе РМО может использоваться как учебный тренажер для операторов автономной техники и диспетчеров. Программы обучения, разработанные на основе ЦД процессов контроля и управления ВА ПДК, могут составить основу для новых специальностей, которые появятся в недалеком будущем при роботизации ОГР [15]:

- оператор управления парком роботизированных карьерных автосамосвалов;
- диспетчер роботизированного комплекса;
- сервисный инженер ВА ПДК;
- оператор дистанционно-управляемой и автономной карьерной техники.

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Digital technologies

Цифровой двойник (симулятор) процессов управления высокоматематизированными буровзрывными работами

На рис. 4 представлено рабочее место оператора автоматического и дистанционного управления буровзрывных работ в удаленном центре управления.

Процессы управления ВА БВР и работа оператора РМО удаленного центра управления строятся во взаимодействии с АСУ ВА ГТК и ГГИС – для получения информации по проектам бурения, формирующимся в АСУ ГТК или ГГИС, и цифровой 3D-модели карьера с рабочими площадками – участками проведения БВР (рис. 5). Задача роботизированного буровзрывного станка состоит в том, чтобы последовательно:

- переместиться к месту новой скважины, точно позиционировать бур относительно устья скважины;
- горизонтироваться – поднять и произвести выравнивание станка на домкратах;
- выполнить бурение, возможно с накручиванием дополнительных буровых штанг;
- выполнить обратную последовательность действий: поднять буровой став (с разбором дополнительных штанг), встать с домкратов и переместиться к следующей скважине согласно проекту бурения (рис. 6).



Рис. 4
Рабочее место оператора автоматического и дистанционного управления буровзрывных работ в удаленном центре управления

Fig. 4
Operator's workstation for automatic and remote control of drilling-and-blasting operations at the remote control center



Рис. 5
Виртуальная среда (3D-модель) карьера с участком проведения буровзрывных работ

Fig. 5
Virtual environment (a 3D model) of a surface mine with a drilling-and-blasting site



Рис. 6
Отображение плана проведения буровзрывных работ на экране рабочего места оператора

Fig. 6
Visualization of the drilling-and-blasting plan on the screen of the operator's workstation

Для отладки ПО процессов управления ВА БВР и подготовки обучающих программ разработан цифровой двойник (симулятор) с реалистичной визуализацией БВР на плане карьера – участке проведения БВР с разными условиями (наклонами и неровностями площадки, препятствиями, валами и т.п.), виртуальными датчиками, исполнительными механизмами и похожим поведением реального станка. В математической модели и ПО ЦД ВА БВР реализованы физические модели гидравлики и кинематики движений рабочих органов. Кроме простых датчиков симулируются трехмерные лидары (с выдачей облаков точек) и камеры кругового обзора⁶. Так же как и в случае с цифровым двойником, ПДК, ЦД ВА БВР позволяет моделировать работу исполнительных механизмов и датчиков, а также опасные и нештатные ситуации, которые могут возникнуть в процессе проведения БВР.

Цифровой двойник процесса управления высокоматематизированными горнотранспортными комплексами при освоении других планет

Перспективы в ближайшие десятилетия освоения ближнего и дальнего космоса и планы международной кооперации по строительству баз на Луне и Марсе требуют принципиально нового оборудования и технологических решений для проведения геологоразведочных и строительных работ на других планетах. Многие компании начинают развивать автономные технологии производства геологоразведочных и строительных работ на поверхности Луны. Японский производитель тяжелой строительной техники и горного оборудования Komatsu представил в 2024 г. на международной выставке CES в Лас-Вегасе макет беспилотного лунного экскаватора. В разработках Komatsu используется технология цифрового двойника, позволяющего воссоздать реальные объекты, системы и механизмы в виртуальном пространстве и моделировать их поведение⁷. Концепт «цифрового двойника», зародив-

6 Взрывная роботизация: как отлаживать софт бурового станка в другом полушарии или Пробурили мы дыру из Бурятии в Перу. 27 ноября 2024 г. Режим доступа: <https://habr.com/en/companies/zyfra/articles/861270/> (дата обращения: 07.04.2025).

7 Фокин А. Komatsu показала лунный экскаватор и подводный бульдозер. Японская компания представила концепты строительной техники для экстремальных условий. 16 января 2025 г. Режим доступа: <https://nplus1.ru/news/2025/01/16/komatsu-moon-and-underwater-excavators?ysclid=mas7nr26tq649087076> (дата обращения: 07.04.2025).



Рис. 7
Моделирование работы
экскаватора на лунной
поверхности

Fig. 7
A simulation of the
excavator's operation on the
lunar surface

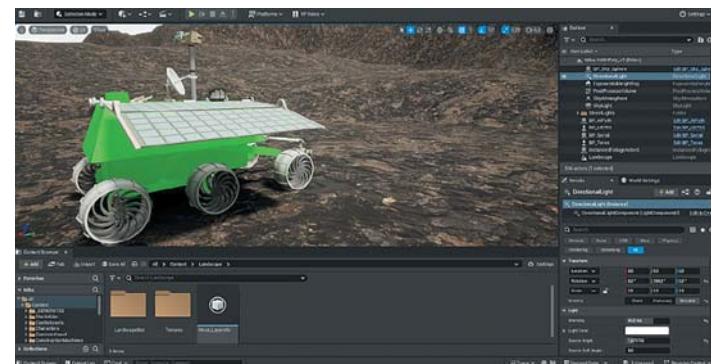


Рис. 8
Разработка 3D-модели
лунохода на участке лунной
поверхности

Fig. 8
Development of a 3D model of
a lunar roving vehicle on a
section of the lunar surface

шийся в аэрокосмических проектах NASA и ставший в последние годы одним из основных трендов цифровой трансформации горного производства, расширяет область своего применения в проектах освоения планет Солнечной системы⁸ [19]. Эта технология позволяет тестировать совместную работу лунных ВА ПДК – моделей экскаваторов (рис. 7) и многофункциональных гусеничных самосвалов и способов взаимодействия между ними в условиях, имитирующих лунную гравитацию, рельеф и температуру.

Опыт применения цифровых двойников в задачах горного производства может стать основой для проектирования прототипов ВА ПДК (роверов) и ВА БВР для решения задач разведки и строительства на других планетах. Базовый функционал и общие технические требования к проектированию цифрового двойника должны предусматривать для «космических» ВА ПДК возможность:

- строить непосредственно в процессе работы и движении 3D-модель местности;
- позиционироваться относительно этой модели;
- самостоятельно перемещаться, выполняя задания по передвижению и выполнению работ;
- планировать движения с учетом энергоемкости движения по маршруту;
- учитывать положение солнца и ориентировать солнечные батареи на него во время движения;
- по возможности двигаться только в дневной период для предотвращения разряда батарей;
- иметь режим дистанционного управления.

Основным источником информации может являться закрепленная на корпусе роверов стереопара. Решение задачи передвижения по заданной траектории в отсутствие спутниковой навигации сводится к построению 3D-модели и перемещению с использованием SLAM-технологий (одновременная локализация и построение карты). Дополнительно может использоваться также инерциальная навигация и/или навигация по звездам.

Сформулированные выше общие требования могут составить основу начального этапа работ по созданию цифрового двойника простейшего ровера (лунохода) и участка поверхности, по которой он будет двигаться (рис. 8). Модель (прототип) лунохода должна максимально повторять

⁸ Прототип лунного экскаватора InterLunerobot: добыча гелия-3 начнется уже к 2029 году. Цена вопроса – 20 миллионов долларов за килограмм. 11 мая 2025 г. Режим доступа: <https://www.ixbt.com/news/2025/05/11/interline-3-2029-20.html> (дата обращения: 07.04.2025).

физические размеры и подвижность элементов конструкции (пружинная подвеска, сочленение тележек, упругость колес). Предварительный план работ по разработке ПО для автономного движения ровера-лунохода (прототипа «космического» ВА ПДК будущего):

1. Разработка 3D-модели лунохода для симуляционного ПО (например, 3D-движка UE или Unity3d): реализация физической модели колесного транспортного средства с независимым приводом на каждое колесо и проверка кинематики и динамики его движений;
2. Разработка 3D-ландшафта и сцены (фон, освещение) для проверки движения прототипа и получения «фотографий», приближенных к реальным лунным снимкам;
3. Проверка алгоритмов стереоскопического зрения для построения 3D-модели рельефа;
4. Перенос CAD-модели реального лунохода в 3D-движок с сохранением всех механических, массогабаритных и прочих параметров;
5. Проверка реалистичности движения модели при ручном управлении на подготовленном 3D-ландшафте;
6. Написание сценариев (скриптов) автоматического движения по заданной траектории, тестирование;
7. Разработка ПО для построения траектории по рельефу местности;
8. Тестирование полного цикла автономной навигации: получение снимков со стереопары, построение 3D-рельефа, построение маршрута в построенном рельефе и движение по маршруту.

При готовности физического прототипа лунохода на него переносятся разработанное ПО и выбранные вычислительные модули, камеры и датчики. Испытания далее повторяются на реальном прототипе и полигоне (возможно в условиях горного предприятия) для уточнения технических требований и ограничений проекта создания «космических» ВА ГТК. В частности, на земном полигоне в условиях карьера по добыче полезных ископаемых на базе ВА ПДК возможна отладка технологий, применимых в будущем на других планетах при строительстве лунных баз и геологоразведке:

- детальное цифровое картирование рельефа местности для прокладывания маршрутов движения роверов;
- локализация и навигация движущихся объектов на цифровой карте без применения спутников;

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Digital technologies

– организация маршрутного грузового движения автономных транспортных средств с оптимизацией курса и динамики с учетом рельефа местности и препятствий на пути;

– организация работы комплекса автономных машин в технологическом цикле добычи и транспортировки полезных ископаемых.

Еще одним из возможных применений ЦД процессов управления ВА ГТК (например, системы «Горный MES» на базе цифровой индустриальной платформы ZПоТ компании ГК «ЦИФРА») может стать разработка моделей, отладка ПО и создание открытых информационных сервисов системы мониторинга околоземного космического пространства (проект «Млечный путь»). Такие сервисы обеспечат предоставление данных мониторинга широкому кругу потребителей для повышения уровня безопасности космических полетов. Информационное подобие задач управления ВА ГТК и мониторинга космических объектов потенциально позволяет также экстраполировать опыт сквозного моделирования и оптимизации работы горного предприятия на задачи информационного обеспечения наземной инфраструктуры спутниковых группировок.

Таким образом, для ИТ компаний (разработчиков и интеграторов цифровых горных технологий) работы по созданию цифровых двойников «космических» ВА ПДК (и ГТК) могут иметь косвенную значимость:

– приобретается опыт в моделировании сложных механизмов в современных 3D-движках с поддержкой физических законов и опыт работы со стереопарой – распознавание объектов, построение 3D-модели окружения;

– разрабатываются технические решения по ориентации в пространстве, альтернативные спутниковой навигации, что особенно важно в земных условиях при подземной добыче полезных ископаемых;

– при разработке цифровых двойников «космических» ВА ПДК диверсифицируется опыт цифровых решений в горном деле и расширяется сфера возможных перспективных направлений для бизнеса ИТ компаний.

Заключение

1. Развитие *отраслевых цифровых решений* в горнодобывающей промышленности связано в ближайшие годы с разработкой и широким применением на практике цифровых двойников процессов управления ВА ГТК. Цифровые двойники охватывают жизненный цикл горного производства и оборудования и используют данные от реальных и виртуальных датчиков для моделирования, сценарного анализа и мониторинга технологических процессов.
2. Цифровые инструменты Индустрии 4.0, применяемые в ЦД ВА ГТК (IoT, BigData, облачные вычисления, симуляторы, платформенные решения, технологии

навигации и телекоммуникаций), принципиально изменяют традиционные методологии вычислительного эксперимента для численного моделирования сложных физических и технических систем.

3. Можно выделить несколько классов цифровых двойников процессов управления ВА ГТК:
 - цифровые двойники, основанные на обработке телеметрической/горнотехнической информации для оптимизации горных работ в режиме реального времени – цифровые системы поддержки принятия решений, составляющие информационную экосистему цифрового горного предприятия;
 - цифровые двойники для проектирования, многовариантного планирования горных работ и проверки гипотез, основанные на имитационных моделях (симуляторах) технологических процессов и оборудования, ретроспективных и виртуальных базах данных работы АСУ ВА ГТК и геотехнологических параметров месторождения;
 - цифровые двойники для подготовки/переподготовки инженерных кадров.
4. Удаленный центр управления горного предприятия (аналитический центр на базе университетов/НИИ горного профиля) может стать «фабрикой» построения цифровых двойников на основе развития функционала установленных в удаленном центре систем – АСУ ГТК, ГГИС, симуляторов процессов управления ВА ГТК (ПДК, БВР и др.) и расширения коммуникационных связей между этими системами. Ретроспективная (историческая) база данных работы АСУ ГТК и «геотехнологическая» база данных ГГИС – важнейшие элементы «фабрики цифровых двойников».
5. Наиболее перспективным направлением развития технологии цифровых двойников представляется разработка систем имитационного моделирования для планирования горных работ и сквозной оптимизации производственных процессов, а также создание симуляторов и образовательных программ по новым специальностям цифрового горного производства.
6. Гибкость и универсальность математического аппарата цифровых двойников и законы подобия физических систем позволяют расширить сферы возможных применений ЦД ВА ГТК на задачи космической индустрии, например, при создании макетов образцов разведочной и добывочной техники и прототипов программного обеспечения роботизированных технико-технологических решений по добыче и разведке полезных ископаемых на других планетах.

Список литературы / References

1. Владимиров Д.Я., Клебанов А.Ф., Кузнецов И.В. Цифровая трансформация открытых горных работ и новое поколение карьерной техники. *Горная промышленность*. 2020;(6):10–12. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-6-10-12>
Vladimirov D.Ya., Klebanov A.F., Kuznetsov I.V. Digital transformation of surface mining and new generation of open-pit equipment. *Russian Mining Industry*. 2020;(6):10–12. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-6-10-12>

2. Лукичёв С.В. Цифровое прошлое, настоящее и будущее горнодобывающих предприятий. *Горная промышленность*. 2021;(4):73–79. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-4-73-79>
Lukichev S.V. Digital past, present, and future of mining industry. *Russian Mining Industry*. 2021;(4):73–79. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-4-73-79>
3. Клебанов А.Ф. Автоматизация и роботизация открытых горных работ: опыт цифровой трансформации. *Горная промышленность*. 2020;(1):8–11. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/ogr/15630-avtomatizatsiya-i-robotizatsiya-otkrytykh-gornykh-rabot-opyt-tsifrovoj-transformatsii> (дата обращения: 06.05.2025).
Klebanov A.F. Automation and robotization in opencast mining: experience in digital transformation. *Russian Mining Industry*. 2020;(1):8–11. (In Russ.) Available at: <https://mining-media.ru/ru/article/ogr/15630-avtomatizatsiya-i-robotizatsiya-otkrytykh-gornykh-rabot-opyt-tsifrovoj-transformatsii> (accessed: 06.05.2025).
4. Клебанов А.Ф., Бондаренко А.В., Жуковский Ю.Л., Клебанов Д.А. Организация удаленных центров управления горным предприятием: стратегические предпосылки и этапы реализации. *Горная промышленность*. 2024;(4):174–183. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-174-183>
Klebanov A.F., Bondarenko A.V., Zhukovsky Yu.L., Klebanov D.A. Establishing remote control centers of a mining operation: strategic prerequisites and implementation stages. *Russian Mining Industry*. 2024;(4):174–183. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-174-183>
5. Николаев С., Поплавский С., Гусев М. Применение цифровых двойников технологических процессов на предприятиях горнодобывающей и metallurgической промышленности. Глобус: геология и бизнес. 2023;(4). Режим доступа: <https://www.vnedra.ru/tehnologii/informacionnye-tekhnologii/primenenie-czifrovyh-dvojnikov-tehnologicheskikh-protsessov-na-predpriatiyah-gornodobyyayushhej-i-metallurgicheskoy-otraslej-promyshlennosti-23070/> (дата обращения: 06.05.2025).
Nikolaev S., Poplavsky S., Gusev M. Application of digital twins of technological processes at mining and metallurgical companies. Globus: Geologiya i Biznes. 2023;(4). (In Russ.) Available at: <https://www.vnedra.ru/tehnologii/informacionnye-tekhnologii/primenenie-czifrovyh-dvojnikov-tehnologicheskikh-protsessov-na-predpriatiyah-gornodobyyayushhej-i-metallurgicheskoy-otraslej-promyshlennosti-23070/> (accessed: 06.05.2025).
6. Сахапова Т.С., Исмагилов Т.Ш., Тихонов В.А. Цифровой двойник производства как этап новой цифровой бизнес-модели промышленного предприятия. *Горная промышленность*. 2023;(2):62–68. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-2-62-68>
Sakhapova T.S., Ismagilov T.Sh., Tikhonov V.A. A digital twin of the manufacturing system as a stage in the new digital business model of an industrial company. *Russian Mining Industry*. 2023;(2):62–68. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-2-62-68>
7. Наговицын О.В., Степачева А.В. Формирование цифрового двойника месторождения твердых полезных ископаемых. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2021;(6):171–180. <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20210616>
Nagovitsyn O.V., Stepacheva A.V. Digital twin of solid mineral deposit. *Journal of Mining Science*. 2021;57(6):1033–1040. <https://doi.org/10.1134/S1062739121060168>
8. Хитрых Д. Цифровые двойники в промышленности: истоки концепции, современный уровень развития и примеры внедрения. *Современная электроника*. 2022;(1):62–67. Режим доступа: <https://cloud.cta.ru/iblock/8ac/8acec945382792f55a712e606b51fd68/20220162.pdf> (дата обращения: 06.05.2025).
Khitrykh D. Industrial application of digital twins: origins of the concept, current level of development, and examples of implementation. *Sovremennaya Elektronika*. 2022;(1):62–67. (In Russ.) Available at: <https://cloud.cta.ru/iblock/8ac/8acec945382792f55a712e606b51fd68/20220162.pdf> (accessed: 06.05.2025).
9. Захаров В.Н., Кубрин С.С. Цифровая трансформация и интеллектуализация горнотехнических систем. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(5-2):31–47. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_52_0_31
Zakharov V.N., Kubrin S.S. Digital transformation and intellectualization of mining systems. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(5-2):31–47. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_52_0_31
10. Темкин И.О., Клебанов Д.А., Дерябин С.А., Конов И.С. Построение интеллектуальной геоинформационной системы горного предприятия с использованием методов прогнозной аналитики. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;(3):114–125. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-3-0-114-125>
Temkin I.O., Klebanov D.A., Deryabin S.A., Konov I.S. Construction of intelligent geoinformation system for a mine using forecasting analytics techniques. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020;(3):114–125. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-3-0-114-125>
11. Малыханов А.А. Имитационная модель рудника – основа качественной поддержки принятия оперативных решений. *Золото и технологии*. 2020;(3):46–47. Режим доступа: https://zolteh.ru/technic/imitatsionnaya_model_rudnika_osnova_kachestvennoy_poddernzhki_prinyatiya_operativnykh_srednesrochnykh/ (дата обращения: 06.05.2025).
Malykhannov A.A. A mine simulation model: a basis for high-quality support of operational decision-making. *Zoloto i Tekhnologii*. 2020;(3):46–47. (In Russ.) Available at: https://zolteh.ru/technic/imitatsionnaya_model_rudnika_osnova_kachestvennoy_poddernzhki_prinyatiya_operativnykh_srednesrochnykh/ (accessed: 06.05.2025).
12. Наговицын Г.О. Автоматизированное планирование открытых горных работ для сплошных систем разработки в горно-геологической информационной системе MINEFRAME. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(12-1):42–51. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_121_0_42
Nagovitsyn G.O. Automated planning of open mining for longwall mining methods in the MGIS MINEFRAME. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(12-1):42–51. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_121_0_42

13. Клебанов А.Ф. Прогнозирование внезапных выбросов угля и газа на основе исследования их механизма методом вычислительного эксперимента: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.; 1988. 16 с.
14. Моисеев Н. Изучение биосферы с помощью машинных экспериментов. Оценка последствий ядерной войны. В кн.: Моисеев Н. Экология человечества глазами математика. М.: Молодая гвардия; 1988. С. 48–110.
15. Клебанов А.Ф., Коваленко М.Е., Габусу П.А. Высшее образование, производство и ит: этапы и направления долгосрочного сотрудничества (опыт ГК «Цифра»). *Горная промышленность*. 2025;(1):18–22. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1-18-22>
Klebanov A.F., Kovalenko M.E., Gabusu P.A. Higher education, production and it: stages and directions of long-term cooperation (experience of Zyfra Group). *Russian Mining Industry*. 2025;(1):18–22. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1-18-22>
16. Трубецкой К.Н., Кулешов А.А., Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я. Современные системы управления горно-транспортными комплексами. СПб.: Наука; 2007. 306 с.
17. Клебанов А.Ф., Сиземов Д.Н., Кадочников М.В. О Комплексный подход к удаленному мониторингу технического состояния и режимов эксплуатации карьерного автосамосвала. *Горная промышленность*. 2020;(2):75–81. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-2-75-81>
Klebanov A.F., Sizemov D.N., Kadochnikov M.V. Integrated approach to remote monitoring of technical and operating conditions of mine dump trucks. *Russian Mining Industry*. 2020;(2):75–81. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-2-75-81>
18. Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я. Новые цифровые технологии управления промышленной безопасностью на открытых горных работах. В кн.: Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр: материалы 4-й конференции международной научной школы академика РАН К.Н. Трубецкого, г. Москва, 16–20 ноября 2020 г. М.: ИПКОН РАН; 2020. С. 22–27.
19. Бобин В.А., Бобина А.В., Клебанов А.Ф. Проект миссии для подтверждения достоверности прогноза запасов и возможности добычи гелиона на Луне. *Вестник ГЛОНАСС*. 2023;(2):53–63.
Bobin V.A., Bobina A.V., Klebanov A.F. A mission project to confirm the reliability of reserves forecasts and the possibility of helion mining on the Moon. *Vestnik GLONASS*. 2023;(2):53–63. (In Russ.)

Информация об авторах

Клебанов Алексей Феликович – кандидат технических наук, директор по науке и работе с образовательными учреждениями, Группа компаний «Цифра», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: aleksey.klebanov@zyfra.com
Еремкин Иван Владимирович – инженер-конструктор «ЦИФРА РОБОТИКС», Группа компаний «Цифра», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: ivan.eremkin@zyfra.com
Габусу Паулина Айкиновна – кандидат технических наук, руководитель направления, Группа компаний «Цифра», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: paulina.gabusu@zyfra.com

Information about the authors

Aleksey F. Klebanov – Cand. Sci. (Eng.), Director for Science and Interaction with Educational Institutions, Zyfra Group, Moscow, Russian Federation; e-mail: aleksey.klebanov@zyfra.com
Ivan V. Eremkin – Design engineer, Zyfra Robotics, Zyfra Group, Moscow, Russian Federation; e-mail: ivan.eremkin@zyfra.com
Paulina A. Gabusu – Cand. Sci. (Eng.), Head of Discipline, Zyfra Robotics, Zyfra Group, Moscow, Russian Federation; e-mail: paulina.gabusu@zyfra.com

Article info

Received: 07.05.2025
Revised: 25.06.2025
Accepted: 28.06.2025

Информация о статье

Поступила в редакцию: 07.05.2025
Поступила после рецензирования: 25.06.2025
Принята к публикации: 28.06.2025



МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ
ХОЛДИНГ



Сделано
в России



DR-B1

ПОДЗЕМНАЯ ГИДРОПЕРФОРАТОРНАЯ
БУРОВАЯ УСТАНОВКА
ДЛЯ МОНТАЖА АНКЕРНОЙ КРЕПИ

- Минимальные размеры горной выработки — 3×3 м
- Перфоратор RD314-MX собственного производства
- Оснащена манипулятором для захвата и удержания стальной сетки
- Установка анкеров любого типа* длиной до 3 000 мм

16+

РЕКЛАМА

* Гидрораспорный типа Swellex, фрикционный типа «СЗА», сталеполимерные/стеклопластиковые анкера с химическим закреплением.

Спроектирована и выпускается АО «Машиностроительный холдинг»

Организация оперативного управления производственными рисками на Ковдорском ГОКе: обучение линейных руководителей

В.Н. Кулецкий¹✉, С.В. Жунда¹, П.М. Михайлов¹, А.В. Галкин²

¹АО «Ковдорский горно-обогатительный комбинат», г. Ковдор, Российская Федерация

²ООО «НИИОГР», г. Челябинск, Российская Федерация

✉ dus@kovgok.ru

Резюме: В статье приведены основные направления и результаты работы по формированию у персонала АО «Ковдорский ГОК» первичных навыков оперативного управления производственными рисками. Для формирования первичных навыков применения риск-ориентированного подхода к организации производственной деятельности была разработана и реализована программа обучения, которая включала решение следующих задач: 1 – проведение детального разбора негативных событий, произошедших на горнодобывающих предприятиях России и в АО «Ковдорский ГОК» с точки зрения реализованных угроз; 2 – построение логической модели возникновения предпосылок к негативному событию и его реализации; 3 – проработка основных принципов методики риск-ориентированного мышления: «Знаю. Распознаю. Предотвращаю». Основная цель проведенного обучения – сформировать у линейных руководителей первичные навыки по своевременному распознаванию предпосылок к зарождению и развитию опасных производственных ситуаций. В дальнейшем это позволит на этапе планирования производственного процесса прогнозировать вероятность появления опасных производственных ситуаций, оценивать уровень риска негативных событий, предусматривать необходимые ресурсы для снижения вероятности наступления таких событий.

Ключевые слова: производственный риск, риск-ориентированный подход, негативное событие, опасная производственная ситуация, безопасное поведение

Для цитирования: Кулецкий В.Н., Жунда С.В., Михайлов П.М., Галкин А.В. Организация оперативного управления производственными рисками на Ковдорском ГОКе: обучение линейных руководителей. *Горная промышленность*. 2025;(4):72–77. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-72-77>

Organization of operational management of industrial risks at Kovdorsky GOK JSC: training of line managers

V.N. Kuletsky¹✉, S.V. Zhunda¹, P.M. Mikhailov¹, A.V. Galkin²

¹JSC Kovdorsky Mining and Processing Plant, Kovdor, Russian Federation

²LLC NIIOPR, Chelyabinsk, Russian Federation

✉ dus@kovgok.ru

Abstract: The article describes the main trends and results of activities aimed at developing primary skills of operational management of industrial risks among the personnel of the Kovdorsky GOK JSC. In order to form primary skills of applying a risk-oriented approach to organizing production activities, a training program was developed and implemented, which provided solutions to the following tasks: 1 - conducting a detailed analysis of adverse events that took place at mining companies in Russia and at the Kovdorsky GOK JSC in terms of the realized threats; 2 - building a logical model regarding the occurrence of preconditions for an adverse event and its occurrence; 3 - elaborating the basic methodological principles of the risk-oriented thinking: "I am aware, I recognize, I prevent". The main objective of the conducted training was to develop primary skills of the line managers to timely recognize the preconditions for the emergence and development of hazardous industrial situations. In the future, this will allow to forecast the occurrence probability of hazardous industrial situations at the production process planning stage, assess the risk level of adverse events, and provide for the necessary resources to reduce the occurrence probability of such events.

Keywords: industrial risk, risk-oriented approach, adverse event, hazardous industrial situation, safe behavior

For citation: Kuletsky V.N., Zhunda S.V., Mikhailov P.M., Galkin A.V. Organization of operational management of industrial risks at Kovdorsky GOK JSC: training of line managers. *Russian Mining Industry*. 2025;(4):72–77. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-72-77>

Введение

У большинства участников производственного процесса добычи полезных ископаемых отсутствуют реальные навыки оценки рисков травмирования при подготовке, планировании и организации работ. Оценка риска, как правило, происходит постфактум – после происшествия. Такое ограничение в деятельности приводит к небезопасному поведению персонала при выполнении производственного задания, поскольку констатация факта зачастую не содержит логическую цепочку событий, которая привела к негативному событию. В связи с этим руководством комбината решается задача формирования у линейных руководителей и операционного персонала АО «Ковдорский ГОК» первичных навыков управления производственным риском, включающих выявление, оценку и устранение опасных производственных ситуаций. В случае невозможности устранения ОПС необходимо обеспечить контроль, позволяющий привести ситуацию к приемлемому уровню риска.

Результаты

Для формирования первичных навыков применения риск-ориентированного подхода к организации производственной деятельности была разработана и реализована программа обучения [1], которая включала решение следующих задач:

- проведение детального разбора негативных событий, произошедших на горнодобывающих предприятиях России и в АО «Ковдорский ГОК» с точки зрения реализованных угроз;
- построение логической модели возникновения предпосылок для негативного события и его реализации;
- проработка основных принципов методики риск-ориентированного мышления: «Знаю. Распознаю. Предотвращаю».

На основе этой программы с мая по декабрь 2024 г. в АО «Ковдорский ГОК» было проведено 32 семинара-практикума, участие в которых приняли 515 линейных руководителей – начальники участков; заместители начальников участков; горные мастера; мастера; механики. В ходе проведения семинаров с участниками были проработаны следующие основные направления:

1. Реальность и сложившееся представление о закономерности и случайности наступления негативного события:

– в действительности – каждое негативное событие закономерно, случайным является время происшествия и конкретный пострадавший [2];

– в стереотипах человека – если со мной ничего не происходило раньше в опасной производственной ситуации, то значит не произойдет и в будущем.

2. Критическая комбинация нарушений требований безопасности: если работник трудится в условиях уже допущенных двух-трех нарушений требований безопасности, то нарушение, допускаемое им самим, может стать фатальным, поскольку формируется такое сочетание нарушений, при котором негативное событие становится практически неизбежным [3].

3. Опасная производственная ситуация: сочетание факторов, условий и обстоятельств, которое при неспланированном, неподготовленном и плохо организованном технологическом процессе или технологической операции представляет угрозу и/или провоцирует работников на осознанные нарушения требований безопасности и/или

опасные приемы труда для обязательного выполнения сменного наряд-задания.

4. Восприятие и понимание работниками деятельности по обеспечению безопасности труда:

– существующее – деятельность по обеспечению безопасности труда – это обособленная, не являющаяся элементом производственной деятельности, а потому – усложняющая и сдерживающая производственный процесс;

– формируемое – деятельность по обеспечению безопасности труда – это неотъемлемая часть производственной деятельности, которая упорядочивает производственный процесс и тем самым упрощает и облегчает труд работников.

Детальный разбор негативных событий заключался в рассмотрении негативного события с точки зрения причинно-следственных связей – соединения во времени и пространстве факторов, условий, обстоятельств и неадекватных такому сочетанию действий пострадавшего работника. Схема такого разбора приведена на рис. 1.



Рис. 1
Схема разбора негативного события

Fig. 1
A flowchart of analyzing an adverse event

После детального разбора обстоятельств наступления негативного события с участниками семинаров тщательно прорабатывалась логическая модель зарождения предпосылок, которые при отсутствии соответствующих корректирующих мер закономерно ведут к травме (рис. 2).

Заключительная часть каждого семинара включала проработку с участниками основных принципов методики риск-ориентированного мышления: «Знаю. Распознаю. Предотвращаю». Суть этих принципов заключается в необходимости **знания** работниками характерных для конкретных профессий содержания и параметров производственных процессов, а также для конкретных рабочих мест опасностей и опасных производственных ситуаций,

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Industrial safety

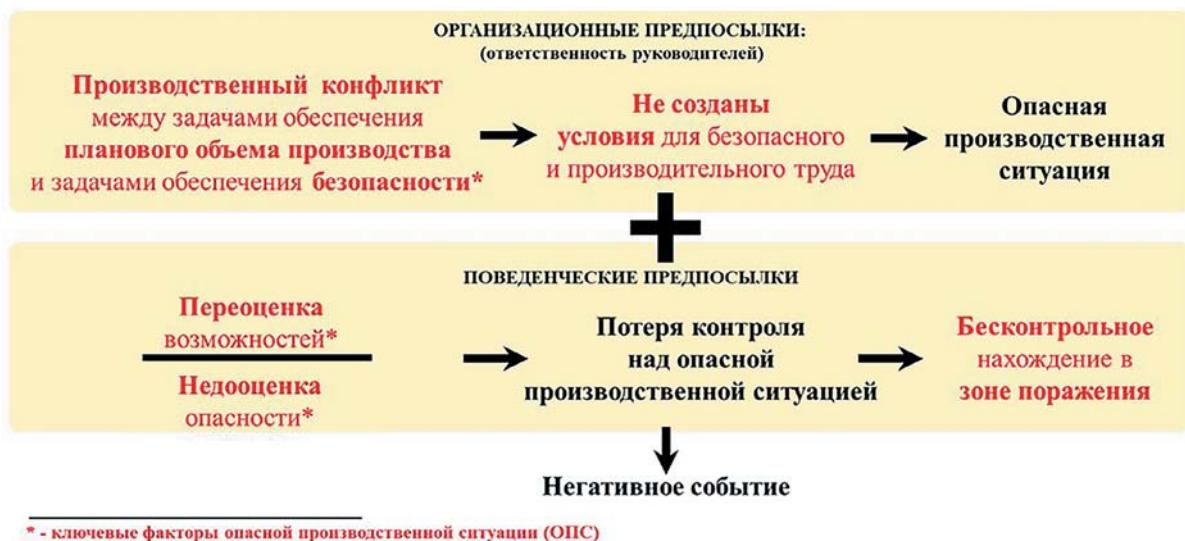


Рис. 2
Логическая модель возникновения негативного события

Fig. 2
A logical model of an adverse event occurrence

которые могут привести к негативному событию; в умении **распознавать** комбинацию факторов, условий и обстоятельств (предпосылок) опасных производственных ситуаций, существенно повышающую риск негативного события; в способности **предотвращать** – устранять или контролировать ключевые факторы ОПС.

Участие в семинарах позволило линейным руководителям Ковдорского ГОКа увидеть опасные производственные ситуации, возникающие в своем рабочем пространстве, которые могут закономерно привести к реализации негативных событий [4]. Такое видение позволяет устранять, при возможности, или контролировать, при невозможности устранения, опасные производственные ситуации на основе разработки и обязательной реализации превентивных мер.

Практическим результатом и продолжением работы линейных руководителей по освоению риск-ориентирован-

ного подхода стало выявление опасных производственных ситуаций, возникающих в своем рабочем пространстве, и разработка реестра, который включает в себя возможные опасные производственные ситуации, характерные для конкретных технологических процессов и операций. При формировании реестра учитывались два условия: 1) приоритетом при выявлении ОПС является вероятность тяжелой или смертельной травмы, в том числе групповой; 2) устранение ОПС должно не только понижать вероятность травмы или аварии, но и влиять на улучшение и облегчение производственной операции или процесса. Фрагмент реестра приведен в табл. 1.

Реестр сформирован таким образом, чтобы можно было видеть, на какой стадии находится опасная производственная ситуация: **стадия зарождения** – как правило, появление одного или нескольких обстоятельств, препятствующих своевременному и качественному выполнению

Таблица 1
Фрагмент реестра опасных производственных ситуаций

Table 1
An extract from the register of hazardous industrial situations

Участок Объект	Описание ОПС	Стадия ОПС			Риск	Мероприятия по устранению ОПС	Сроки устранения ОПС							Должность, ФИО ответственного заполнение, подпись	Трудовые ресурсы ч\см в месяц		
		1-Зарождение		2-Развитие			1 декада (1-10)		2 декада (11-20)		3 декада (21- посл. дата)		Месяц				
		план	факт	план			план	факт	план	факт	план	факт	план	факт			
Буровой	Внужденное выполнение работ (заезд в проход) в условиях незаметного анишлага (стойки под анишлаги)	V			8	Для поддержания анишлагов в надлежащем виде и увеличения их заметности при перекрытии заезда на блоки необходимо их окрасить в яркий цвет краской по ржавчине					24		20		и.о. нач. бурового участка Бахарев Е.П.		
Буровой	На буровой установке РВ водяной насос для подачи воды в забой скважины находится в непосредственной близости от вентилятора радиатора охлаждения и холодный воздух от радиатора идет напрямую на водяной насос. Это приводит к постоянным разморозкам оборудования и ремонтам при низких температурах	V			8	Перекрыть прямой поток холодного воздуха от радиатора на водяной насос					24		1		и.о. нач. бурового участка Бахарев Е.П.		

производственного задания (плана, программы, наряда); **стадия развития** – формирование и существование критической комбинации факторов и обстоятельств, приводящей к возникновению нарушений требований безопасности, технологических регламентов, правил технической эксплуатации и т.п.; **стадия реализации** – резкое (скачкообразное) повышение вероятности наступления негативного события, обусловленное как нарушениями требований безопасности, связанными с организацией труда, так и опасными действиями операционного персонала. Методика учета стадий развития ОПС при планировании производственной деятельности изложена в [5].

Стадии ОПС в реестре необходимы для приоритетности при планировании и организации сменного задания, что, в свою очередь, влияет на вероятность наступления негативного события.

Реестр также содержит оперативные меры безопасности, которые позволяют снизить риск до приемлемого уровня, а также превентивные – направленные на устранение причины возникновения опасной производственной ситуации. Под приемлемым риском в публикации понимается такой уровень защищенности персонала предприятия от негативных событий, при котором реализация ОПС исключена, так как поддается контролю имеющимися в наличии средствами и способами [6].

Риск определяется по формуле [6]:

$$P = B \cdot T,$$

где B – вероятность возникновения события; T – тяжесть негативных последствий.

Таблица 2
Шкалы оценки тяжести негативных последствий T и вероятности B возникновения негативного события

Вероятность возникновения негативного события B	Балл	Тяжесть негативных последствий T		Балл
		Социальные последствия (травма человека)	Экономические последствия (прямые и косвенные убытки, недополученная прибыль)	
Событие практически исключено	1	Возникновение боли без повреждений	Незначительное повреждение оборудования, без ремонта и простоя	1
Событие маловероятно	2	Микротравма	Повреждение оборудования с последующим мелкосрочным ремонтом	2
Событие возможно со средней степенью вероятности	3	Легкая травма	Повреждение оборудования с его остановкой продолжительностью больше смены	3
Событие возможно с высокой степенью вероятности	4	Травма с тяжелым исходом	Остановка отдельного производственного процесса на несколько суток	4
Событие практически неизбежно	5	Травма со смертельным исходом или групповая травма со смертельным исходом	Остановка предприятия	5

Таблица 3
Уровни риска и соответствующие им действия руководителей разных уровней управления

Уровень риска, балл	Действие
Критический – 15÷25	Безотлагательная (немедленная) разработка и реализация мер по снижению риска до приемлемого уровня при жестком контроле процесса со стороны руководства предприятия и подразделения
Высокий – 9÷12	Разработка и реализация мер по снижению риска до приемлемого уровня в короткие сроки при постоянном контроле процесса со стороны руководства подразделения
Повышенный – 6÷8	Безотлагательная (немедленная) разработка и реализация мер по снижению риска до приемлемого уровня в установленные сроки при выборочном контроле процесса со стороны руководства подразделения
Низкий – 1÷5	Меры по уменьшению риска не требуются, но необходимо осуществлять мониторинг процесса со стороны руководства подразделения

Источник: [6]
Source: [6]

Шкала для оценки тяжести и вероятности негативного события представлена в табл. 2. Следует отметить, что негативным событием для предприятия является не только травмирование персонала, но и экономические потери, поэтому при оценке риска рассматриваются оба вида возможных потерь.

Уровень риска и необходимые действия руководства предприятия и производственных подразделений определяются по табл. 3.

В качестве примера снижения вероятности негативного события при обслуживании оборудования и повышения удобства выполнения этой работы на рис. 3 приведен пример устранения опасной производственной ситуации.

Рабочее место: площадка с радиально-сверлильным станком.

ОПС: выполнение рабочим(и) производственных операций с применением приставных ступенек небезопасного исполнения при перепаде высот в 460 мм от уровня пола.

Возможные последствия: тяжелая травма работника; потеря производительных часов из-за временного выбытия работника.

Меры по устранению ОПС: заменить ступени на удобные по размеру в длину и ширину (согласно ГОСТу) с установкой перил.

Проводимая работа показала, что у линейных руководителей наблюдается изменение отношения к обеспечению безопасности от позиции «иждивенца, которому должны обеспечить безопасные условия труда», к позиции «мои действия обеспечивают защищенность персонала в зоне моей ответственности».

Table 2
Reference scales to assess the severity of adverse consequences (T) and probability (B) of an adverse event occurrence

Table 3
The risk levels and corresponding actions of managers at different levels of management

БЫЛО

**Риск негативного события –
повышенный**



Рис. 3
Пример устранения опасной производственной ситуации

СТАЛО

**Риск негативного события –
низкий**



Fig. 3
An example of eliminating a hazardous industrial situation

В этот же период на ряде производственных участков были проведены наблюдения и экспресс-анализ процедуры **подготовки и выдачи наряд-заданий** [7; 8], которые показали следующее:

1. Выдаваемые сменные задания, как правило, не содержат информацию о состоянии рабочих мест с точки зрения безопасности, не указываются источники риска и, как следствие, отсутствует проработка безопасных приемов труда и мер по снижению уровня риска;
2. Интерактивные средства (телевизоры, доски и т.д.), даже при их наличии в помещениях выдачи наряда, не используются для наглядного показа существующих и возможных опасных производственных ситуаций.

Для повышения качества процедур подготовки, выдачи и контроля исполнения сменного наряд-задания

с участниками семинаров были проработаны соответствующие методические инструменты – регламент подготовки и выдачи сменного наряда с акцентом на указание опасностей, рисков, безопасного поведения и безопасных приемов исполнителями нарядов. Помимо этого регламента, для работы с линейными руководителями использовались видеопримеры выдачи нарядов, содержащие акценты и установки, которые позволяют выполнить производственное задание с минимально возможным риском. Следует отметить, что на буровом участке Ковдорского ГОКа уже осваивается подобная визуализированная процедура выдачи сменного задания (на основе опыта разреза «Тугнуйский»).

Следующий этап работы по освоению персоналом Ковдорского ГОКа оперативного управления производственным риском будет включать:

1. Уточнение и дополнение сформированных реестров ОПС с участием работников, прошедших обучение риск-ориентированному подходу, и руководителей производственных подразделений.
2. Освоение руководителями основных производственных подразделений процедуры выдачи наряда с использованием реестра ОПС и указанием мероприятий по снижению риска.

Заключение

Основная цель проведенного обучения – сформировать у линейных руководителей первичные навыки по своевременному распознаванию предпосылок к зарождению и развитию опасных производственных ситуаций. В дальнейшем это позволит на этапе планирования производственного процесса прогнозировать вероятность появления опасных производственных ситуаций, оценивать уровень риска негативных событий, предусматривать необходимые ресурсы для снижения вероятности наступления таких событий.

Список литературы / References

1. Дикий С.В., Кричигин О.В., Кравчук И.Л., Галкин А.В., Смолин А.В. Формирование риск-ориентированного мышления у персонала угледобывающих предприятий. *Безопасность труда в промышленности*. 2023;(9):81–88. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2023-9-81-88>
Dikiy S.V., Krichigin O.V., Kravchuk I.L., Galkin A.V., Smolin A.V. Formation of risk-oriented thinking among the personnel of coal mining enterprises. *Occupational Safety in Industry*. 2023;(9):81–88. (In Russ.) <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2023-9-81-88>
2. Артемьев В.Б., Лисовский В.В., Кравчук И.Л., Галкин А.В., Перятинский А.Ю. Производственная травма и производственный травматизм: явление и сущность, случайность и закономерность. *Уголь*. 2020;(5):4–11. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2020-5-4-11>
Artemiev V.B., Lisovskiy V.V., Kravchuk I.L., Galkin A.V., Peryatinskiy A.Yu. Work-related injuries and work-related traumatism: phenomenon and essence, randomness and regularity. *Ugol'*. 2020;(5):4–11. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2020-5-4-11>

3. Галкин А.В. Повышение надежности функционирования системы обеспечения безопасности труда – средство снижения производственного риска. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(5-2):220–232. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_52_0_220
Galkin A.V. Improving the reliability of the functioning of the occupational safety system is a means of reducing production risk. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(5-2):220–232. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_52_0_220
4. Виноградова О.В. Роль персонала в обеспечении безопасности на угледобывающих предприятиях. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021;(2-1):64–76. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2021-21-0-64-76>
Vinogradova O.V. The role of personnel in ensuring safety at coal mining enterprises. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;(2-1):64–76. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2021-21-0-64-76>
5. Лисовский В.В., Гришин В.Ю., Кравчук И.Л., Галкин А.В. Об оперативном управлении рисками травмирования персонала: удержание опасной производственной ситуации на приемлемом уровне риска. *Уголь*. 2013;(11):46–52.
Lisovsky V.V., Grishin V.Yu., Kravchuk I.L., Galkin A.V. On operational management of personnel injury risks: maintaining a hazardous production situation at an acceptable risk level. *Ugol'*. 2013;(11):46–52. (In Russ.)
6. Черских О.И., Минаков В.С., Галкин А.В., Муштонина Е.А. Методика оценки культуры безопасности производства и труда на горнодобывающем предприятии. *Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности*. 2023;(1):63–72.
Cherskikh O.I., Minakov V.S., Galkin A.V., Mushtonina E.A. Methodology for assessing the safety culture of production and labor at the mining enterprise. *Bulletin of Scientific Centre VostNII for Industrial and Environmental Safety*. 2023;(1):63–72. (In Russ.)
7. Кулецкий В.Н., Жунда С.В., Довженок А.С. Организация обеспечения безопасности производственных процессов угольного разреза в условиях увеличения мощности горнотранспортного оборудования. *Уголь*. 2020;(2):35–40. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2020-2-35-40>
Kuletsky V.N., Zhunda S.V., Dovgenok A.S. Organization of ensuring the safety of production processes in a coal mine in the face of an increase in the capacity of mining equipment. *Ugol'*. 2020;(2):35–40. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2020-2-35-40>
8. Галкин А.В., Смолин А.В., Неволина Е.М. Управление производственным риском как элемент проектирования системы обеспечения безопасности труда горнодобывающего предприятия, обеспечивающий надежность ее функционирования. *Горная промышленность*. 2022;(1S):86–94. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1S-86-94>
Galkin A.V., Smolin A.V., Nevolina E.M. Industrial risk management as a design element of the mine safety system to ensure the reliability of its operation. *Russian Mining Industry*. 2022;(1 Suppl.):86–94. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1S-86-94>

Информация об авторах

Кулецкий Валерий Николаевич – кандидат технических наук, генеральный директор, АО «Ковдорский горнобогатительный комбинат», г. Ковдор, Российская Федерация; e-mail: dus@kovgok.ru

Жунда Сергей Валерьевич – кандидат технических наук, зам. генерального директора по промышленной безопасности, охране труда и медицине труда, АО «Ковдорский горнобогатительный комбинат», г. Ковдор, Российская Федерация; e-mail: Sergey.Zhunda@eurochem.ru

Михайлов Петр Михайлович – технический директор, АО «Ковдорский горнобогатительный комбинат», г. Ковдор, Российская Федерация; e-mail: Petr.Mikhailov@eurohem.ru

Галкин Алексей Валерьевич – доктор технических наук, заведующий лабораторией производственных рисков, ООО «НИИОГР», г. Челябинск, Российская Федерация; e-mail: a.val.galkin@yandex.ru

Information about the authors

Valery N. Kuletsky – Cand. Sci. (Eng.), General Director, JSC Kovdorsk Mining and Processing Plant, Kovdor, Russian Federation; e-mail: dus@kovgok.ru

Sergey V. Zhunda – Cand. Sci. (Eng.), Deputy General Director for Industrial Safety, Labor Protection and Occupational Medicine, JSC Kovdorsk Mining and Processing Plant, Kovdor, Russian Federation; e-mail: Sergey.Zhunda@eurochem.ru

Peter M. Mikhailov – Cand. Sci. (Eng.), Kovdorsk Mining and Processing Plant JSC, Kovdor, Russian Federation; e-mail: Petr.Mikhailov@eurohem.ru

Alexey V. Galkin – Dr. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory of Industrial Risks, LLC NIIOPR, Chelyabinsk, Russian Federation; e-mail: a.val.galkin@yandex.ru

Article info

Received: 19.05.2025

Revised: 10.06.2025

Accepted: 17.06.2025

Информация о статье

Поступила в редакцию: 19.05.2025

Поступила после рецензирования: 10.06.2025

Принята к публикации: 17.06.2025

Моделирование тектонических нарушений с применением связей конечной жёсткости с интеграцией в CAE Fidesys

Ю.Ю. Головченко¹, А.Е. Румянцев¹, В.В. Лалин^{2,3}, М.А. Соннов⁴✉

¹ ООО «Институт Гипроникель», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

³ Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва, Российская Федерация

⁴ ООО «Фидесис», г. Москва, Российская Федерация

✉ Sonnov@cae-fidesys.com

Резюме: В статье представлена оригинальная методика моделирования тектонических нарушений в массивах горных пород с использованием связей конечной жёсткости, разработанная в рамках подхода метода конечных элементов. В отличие от традиционных методов, требующих явного построения геометрии разломов и сопряжения их с другими структурными элементами модели, предложенный подход позволяет задать тектонические нарушения в неявной форме. Это достигается путём введения специальных пружинных элементов между узлами сетки, обладающих регулируемой жёсткостью в определённых направлениях. Такой способ описания ослабленных зон не требует модификации основной геометрии модели, упрощает её топологию и повышает устойчивость численного расчёта.

Методика реализована в виде автономной надстройки, написанной на языке Python, и используется совместно с отечественным программным комплексом CAE Fidesys. Надстройка автоматически формирует список связей конечной жёсткости по заданным координатам разломов, назначает параметры жёсткости и интегрируется в расчётную схему без необходимости вмешательства в интерфейс базовой программы. Разработанный инструмент протестирован на ряде задач геомеханики и успешно верифицирован на основе сравнений с теоретическими и эмпирическими результатами. Кроме того, в статье приводятся рекомендации по выбору параметров пружинных элементов в зависимости от геологического строения массива, степени тектонической нарушенности и особенностей инженерной задачи.

Разработанная методика может быть эффективно использована при проектировании горных выработок, инженерной оценке устойчивости пород в сейсмоактивных районах, а также при геомеханическом сопровождении освоения месторождений. Её применение особенно актуально в условиях сложной геологической структуры и наличия множественных пересекающихся разломов, где классические методы моделирования сталкиваются с серьёзными вычислительными и методологическими ограничениями.

Ключевые слова: тектонические нарушения, численное моделирование, метод конечных элементов, связи конечной жёсткости, CAE Fidesys, ослабленные зоны, геомеханика, пружинные элементы, инженерная геология

Для цитирования: Головченко Ю.Ю., Румянцев А.Е., Лалин В.В., Соннов М.А. Моделирование тектонических нарушений с применением связей конечной жёсткости с интеграцией в CAE Fidesys. *Горная промышленность*. 2025;(4): 78–84. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-78-84>

Modeling of tectonic faults using finite stiffness links with integration in CAE Fidesys

Yu.Yu. Golovchenko¹, A.E. Rumyantsev¹, V.V. Lalin^{2,3}, M.A. Sonnov⁴✉

¹ Gipronickel Institute, St. Petersburg, Russian Federation

² Peter the Great St. Petersburg Politehnik University, Saint Petersburg, Russian Federation

³ Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow, Russian Federation

⁴ Fidesis LLC, Moscow, Russian Federation

✉ Sonnov@cae-fidesys.com

Abstract: This paper presents an original methodology for modeling tectonic faults in rock masses using finite stiffness links, developed within the framework of the finite element method. Unlike traditional approaches that require explicit construction of the fault geometry and its integration with the other structural elements of the model, the proposed method allows tectonic faults to be defined implicitly. This is achieved through the introduction of special spring elements between the mesh nodes, which have

adjustable stiffness in the specified directions. This approach to representing weakened zones eliminates the need to modify the base geometry of the model, simplifies its topology, and improves the stability of numerical calculations.

The methodology is implemented as a standalone Python-based module and is used in conjunction with the domestic CAE Fidesys software package. The module automatically generates a list of finite stiffness links based on the input coordinates of the faults, assigns the stiffness parameters, and integrates them into the computational model without modifying the graphical interface of the main program. The developed tool has been tested on a number of geomechanical problems and it has been successfully verified through comparisons with theoretical and empirical results. In addition, the article provides recommendations for selecting the spring element parameters based on the geological structure of the rock mass, the degree of tectonic fracturing, and the specific features of the engineering problem.

The developed methodology can be efficiently applied in designing of mining excavations, engineering assessment of rock stability in seismically active regions, and geomechanical support of mining projects. Its use is particularly relevant in conditions of complex geological structures and multiple intersecting faults, where classical modeling methods face significant computational and methodological limitations.

Keywords: tectonic faults, numerical modeling, finite element method, finite stiffness links, CAE Fidesys, weakened zones, geomechanics, spring elements, engineering geology

For citation: Golovchenko Yu.Yu., Rumyantsev A.E., Lalin V.V., Sonnov M.A. Modeling of tectonic faults using finite stiffness links with integration in CAE Fidesys. *Russian Mining Industry*. 2025;(4):78–84. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-78-84>

Введение

Моделирование тектонических нарушений в массивах горных пород представляет собой одну из ключевых задач современной геомеханики. Тектонические разломы существенно влияют на напряжённо-деформированное состояние массива, гидродинамические процессы и устойчивость горных выработок, особенно в условиях сложной геологической структуры и высокой сейсмической активности [1; 2]. Традиционные подходы к моделированию разломов, основанные на упрощённых схемах или эмпирических зависимостях, зачастую не обеспечивают необходимой точности при прогнозировании поведения массива вблизи тектонических нарушений [3].

В последние годы наблюдается активное развитие численных методов, позволяющих более точно учитывать влияние тектонических разломов на механическое поведение горных пород. Особое внимание уделяется методу конечных элементов (МКЭ), который зарекомендовал себя как эффективный инструмент для решения задач геомеханики [4]. Однако стандартные реализации МКЭ не всегда позволяют адекватно моделировать поведение разломов, особенно в случаях их сложной геометрии и неоднородных механических свойств [5].

Одним из перспективных направлений является применение связей конечной жёсткости для моделирования тектонических нарушений. Данный подход позволяет учитывать ослабленные зоны в расчётной схеме, моделируя разломы как элементы с пониженной жёсткостью, что обеспечивает более реалистичное воспроизведение их влияния на напряжённо-деформированное состояние массива [6; 7]. Применение связей конечной жёсткости также упрощает процесс построения моделей, снижая требования к качеству сетки и позволяя эффективно учитывать сложную геометрию разломов [8].

В последние годы в зарубежной научной литературе наблюдается устойчивый интерес к численному моделированию тектонических нарушений с учётом конечной жёсткости. В работах исследуются механизмы изгиба, скольжения и проскальзывания вблизи разломов с помощью двухмерных и трёхмерных конечных элементных моделей, позволяющих учитывать сложную геомеханику взаимодействия

слоёв литосферы [9; 10]. Отдельное внимание уделяется влиянию порового давления и его скорости изменения на индуцированное скольжение, что имеет важное значение для оценки сейсмических рисков [11]. Современные обзоры подчёркивают необходимость моделирования больших деформаций в геосреде с использованием методов, адаптированных к жёстким материалам [12], а также важность верификации численных моделей с помощью полуаналитических решений [13].

Отечественные исследования также подтверждают эффективность применения связей конечной жёсткости для моделирования тектонических нарушений. В работе [14] рассмотрены методы моделирования и управления надёжностью функционирования горных выработок, включая численные подходы к учёту тектонических разломов. Исследование [15] посвящено геопространственному моделированию рельефа местности и тектонической нарушенности массива горных пород, предлагая методику построения трёхмерной модели рельефа с прогнозной оценкой тектонической нарушенности. В статье [16] анализируются геодинамически активные структуры западного фланга Талнахской тектономагматической системы, подчёркивая необходимость учёта тектонических нарушений при проектировании горных работ. Работа [17] описывает построение 1D геомеханической модели для сложных горно-геологических условий на примере месторождения Южного Каспия, учитывая влияние тектонических нарушений. В исследовании [18] представлен анализ напряжённо-деформированного состояния моделей разрывных нарушений с использованием метода конечных элементов.

Несмотря на значительный прогресс в данной области, остаются нерешёнными вопросы, связанные с выбором параметров связей конечной жёсткости, их калибровкой на основе геологических и геофизических данных, а также интеграцией разработанных моделей в существующие программные комплексы для численного моделирования.

Настоящая работа направлена на разработку методики задания тектонических нарушений с использованием связей конечной жёсткости в рамках метода конечных элементов с использованием CAE Fidesys. Предложенный подход позволяет учитывать геометрию и механические

свойства разломов, обеспечивая более точное моделирование их влияния на напряжённо-деформированное состояние массива. В работе представлены результаты численного моделирования, демонстрирующие эффективность разработанной методики, а также рекомендации по выбору параметров связей конечной жёсткости.

Методика моделирования тектонических нарушений при помощи связей конечной жесткости

Моделирование тектонических нарушений в численных моделях при помощи твёрдых тел сопряжено с рядом трудностей как с точки зрения постановки задачи, так и в части её вычислительной реализации. Одной из ключевых проблем является необходимость точного геометрического сопряжения многочисленных тектонических нарушений между собой, особенно в условиях сложной геологической обстановки (рис. 1). При этом важно обеспечить корректное отображение как формы, так и пространственной ориентации каждой из разломных структур, что требует значительных временных и вычислительных ресурсов.

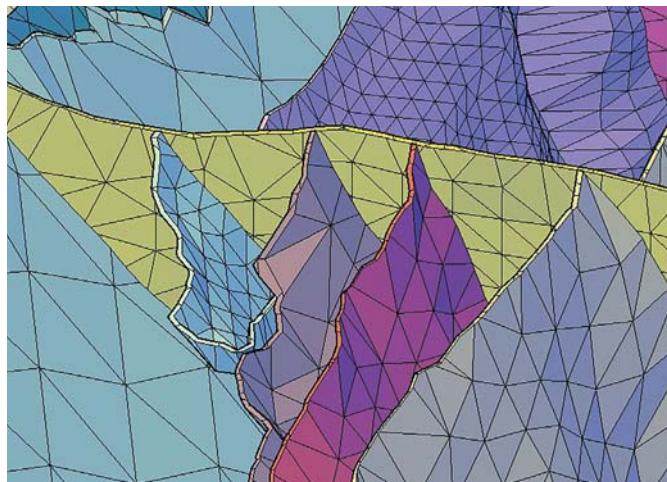


Рис. 1
Сопряжение тектонических нарушений, моделируемых твердыми телами

Fig. 1
Integration of tectonic faults modeled by rigid bodies

Дополнительные сложности возникают при необходимости моделирования участков пересечения тектонических нарушений с другими геологическими телами, в частности, с отрабатываемыми или разрабатываемыми горными массивами. Для этого, как правило, приходится создавать дополнительные геометрические объекты, точно соответствующие зонам пересечения (рис. 2). Эти объекты должны быть согласованы с общей сеткой конечных элементов и обладать соответствующими физико-механическими свойствами, отражающими ослабленную зону. Подобные задачи требуют высокой точности в построении расчетной схемы и продуманного выбора параметров модели, а также могут существенно усложнять её топологию, что, в свою очередь, влияет на сходимость и стабильность численного решения.

Для снижения трудоёмкости моделирования тектонических нарушений была разработана новая методика, позволяющая задавать их в неявной форме, без необходимости явного построения геометрии разломов. В основе данной методики лежит применение связей конечной жёсткости (так называемых «пружин»), которые вводятся в расчётную модель как элементы, связывающие узлы сетки и обладаю-

щие заданной жёсткостью в одном или нескольких направлениях (рис. 3).

Такая формализация позволяет моделировать ослабленные зоны, соответствующие тектоническим разломам, путём локального уменьшения жёсткости в определённых направлениях с учётом мощности тектонического нарушения без необходимости внесения критических изменений в основную геометрию массива. Благодаря этому существенно упрощается процесс построения моделей, особенно в случаях со сложной конфигурацией разломов или их множественными пересечениями.

Кроме того, использование связей конечной жёсткости обеспечивает гибкость при задании параметров – жёсткость можно варьировать в зависимости от геологических данных, а также учитывать анизотропию, неоднородность и различные стадии развития разломных зон. Такой подход позволяет имитировать как полное разрушение сцепления пород по плоскости нарушения, так и частичную деградацию механических свойств, что делает модель более реалистичной и адаптируемой к различным геомеханическим сценариям.

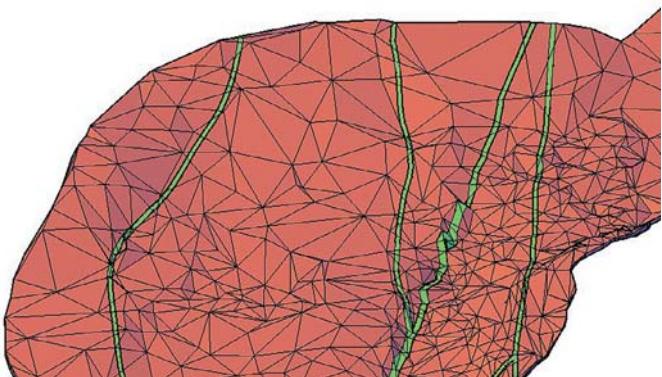


Рис. 2
Участки пересечения тектонических нарушений и отрабатываемого массива (зеленый цвет)

Fig. 2
Intersection areas of tectonic faults and the mined rock mass (green color)

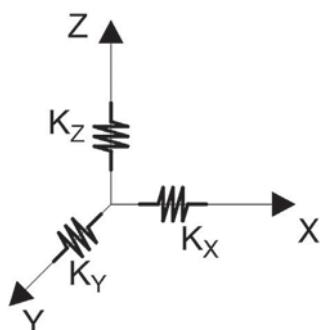


Рис. 3
Связи конечной жесткости

Fig. 3
Links offinite stiffness

Методика эффективно интегрируется в существующие программные комплексы (например, CAE Fidesys), основанные на методе конечных элементов, и демонстрирует высокую вычислительную эффективность при сохранении достоверности результатов, что делает её перспективной для широкого применения в задачах инженерной геологии, горного дела и сейсмостойкого проектирования.

Общая методика задания тектонических нарушений связями конечной жесткости сводится к следующим шагам:

1. Моделирование геометрии тектонических нарушений в САПР AutoCAD или аналогах в виде трехгранной сети.
 2. Разрезка твердых тел численной модели по местам прохождения тектонических нарушений.
 3. Генерация конформной сетки конечных элементов в численной модели и разрыв узлов по плоскостям разрезов.
 4. Определение основных характеристик тектонического нарушения (толщина и модуль упругости).
 5. Вычисление эквивалентных жесткостей для каждой пары узлов тектонического нарушения. Вычисление производится для локальной системы координат каждой связи, где $OY_{лок}$ – ось, перпендикулярная плоскости тектоники в данной точке, $OY_{лок}$ и $OY_{лок}$ – оси, находящиеся в плоскости тектоники в данной точке.
- Расчет жесткостей выполняется по формулам:

$$K_{x_{лок}} = \frac{E \cdot A}{t}; \quad (1)$$

$$K_{y_{лок}} = \frac{12 \cdot E \cdot I_y}{t^3}; \quad (2)$$

$$K_{z_{лок}} = \frac{12 \cdot E \cdot I_z}{t^3}. \quad (3)$$

где E – модуль упругости тектоники, Па; A – площадь эквивалентного участка, м^2 ; I_y, I_z – моменты инерции относительно локальных осей, м^4 ; t – мощность тектоники, м.

Фактически используемые формулы являются элементами матрицы жесткости стержня Бернулли–Эйлера, которые соответствуют перемещению стержня по трем направлениям.

6. Задание связей конечной жесткости по трем направлениям для каждой пары узлов.

Верификация методики в CAEFidesys

Для верификации методики был выполнен расчет бруса с ослабленным участком (эквивалент тектонического нарушения) правильной формы. Общий вид и размеры расчетной схемы приведены на рис. 4.

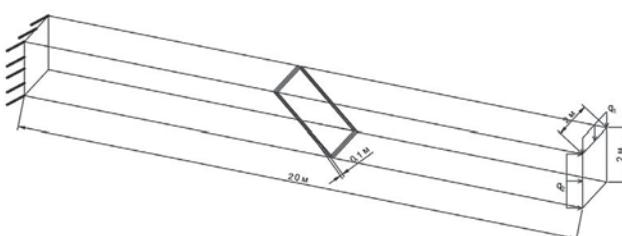


Рис.4.
Общий вид расчетной схемы

Fig. 4
A general view of the computational model

Брус жестко заделан с одной стороны и загружен двумя распределенными силами ($q_1=100000 \text{ Н/м}$, $q_2=50000 \text{ Н/м}$) с другой. Модуль упругости основной части бруса $E_{бруса} = 10^{10} \text{ Па}$, модуль упругости ослабленной зоны $E_{конц} = 10^8 \text{ Па}$. В результате сформированы и рассчитаны две модели: с ослабленной зоной, заданной твердым телом, и с ослабленной зоной, заданной связями конечной жесткости.

Общий вид численной модели приведен на рис. 5.

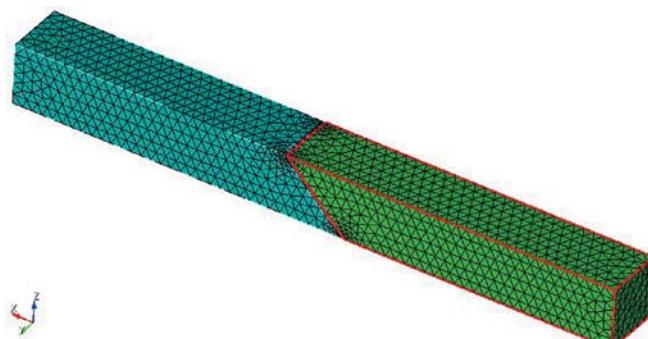


Рис.5
Общий вид численной модели

Fig.
A general view of the numerical model

Сравнение моделей выполнялось по максимальному значению перемещений по осям OX , OY , OZ . Результаты расчета приведены на рис. 6–8.

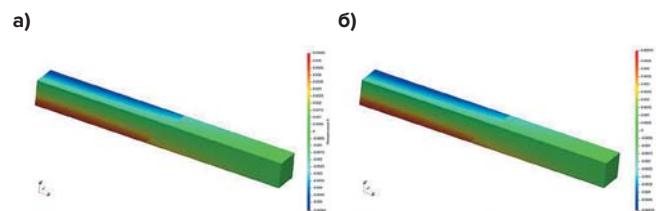


Рис. 6
Сравнение перемещений по OX : а – твердое тело, $\delta_{\max} = -0,00562 \text{ м}$; б – связи конечной жесткости, $\delta_{\max} = -0,00519 \text{ м}$

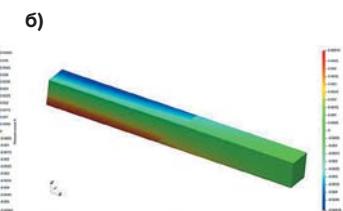


Fig. 6
Comparison of displacements along OX : a – a solid body, $\delta_{\max} = -0,00562 \text{ m}$; б – links of finite stiffness, $\delta_{\max} = -0,00519 \text{ m}$

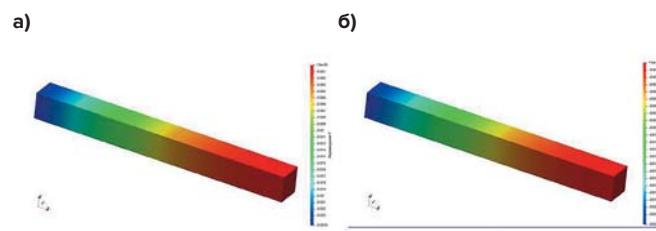


Рис. 7
Сравнение перемещений по OY : а – твердое тело, $\delta_{\max} = -0,0245 \text{ м}$; б – связи конечной жесткости, $\delta_{\max} = -0,0224 \text{ м}$

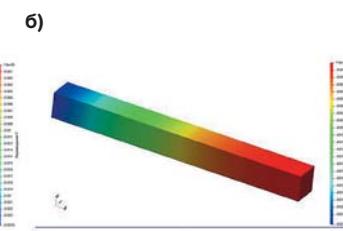


Fig. 7
Comparison of displacements along OY : a – a solid body, $\delta_{\max} = -0,0245 \text{ m}$; б – links of finite stiffness, $\delta_{\max} = -0,0224 \text{ m}$

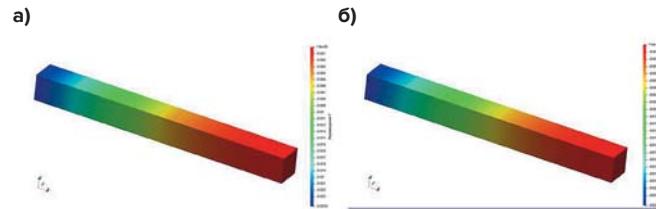


Рис. 8
Сравнение перемещений по OZ : а – твердое тело, $\delta_{\max} = -0,0462 \text{ м}$; б – связи конечной жесткости, $\delta_{\max} = -0,0447 \text{ м}$

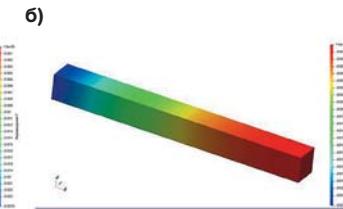


Fig. 8
Comparison of displacements along OZ : a – a solid body, $\delta_{\max} = -0,0462 \text{ m}$; б – links of finite stiffness, $\delta_{\max} = -0,0447 \text{ m}$

Вычислим погрешности для перемещений по каждой из осей:

$$OX: \frac{-0,00562 - (-0,00519)}{-0,00562} \cdot 100\% = 7,7\%;$$

$$OY: \frac{-0,0245 - (-0,0224)}{-0,0245} \cdot 100\% = 8,6\%;$$

$$OZ: \frac{-0,0462 - (-0,0447)}{-0,0462} \cdot 100\% = 3,6\%.$$

Как видно по результатам расчетов, погрешность находится в пределах нормы. Незначительное превышение инженерной погрешности в 5% в данной ситуации сопряжено с накопленной погрешностью от численного интегрирования при вычислении момента инерции и погрешности чисел с плавающей точкой.

На основании верификационной задачи можно сделать вывод о корректной работе разработанной методики.

С применением указанной методики сформирована и рассчитана глобальная численная модель рудника с большим количеством тектонических нарушений (рис. 9). Так как исходное поле напряжений в руднике гравитационное, не совсем очевидно, что после ведения работ в локальных участках преобладающей компонентой тензора напряжений становится горизонтальная компонента.

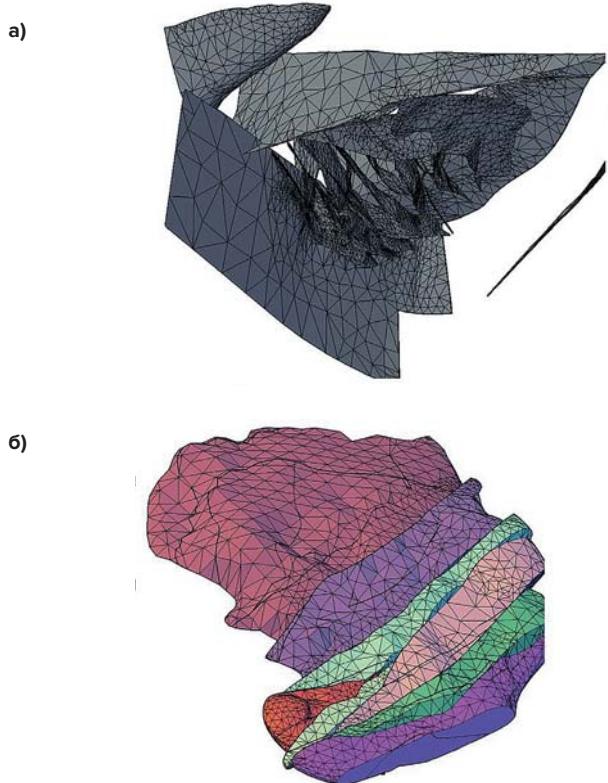


Рис.9
Формирование геометрии глобальной численной модели по предложенной методике:
а – общий вид геометрии тектонических нарушений, представленных в модели, более 40 нарушений;
б – общий вид геометрии интрузии с учётом тектонических нарушений для воспроизведения корректного напряженно-деформированного состояния

Fig. 9
Formation of the global numerical model geometry using the proposed method:
a – a general view of the geometry of tectonic faults represented in the model, more than 40 faults;
б – a general view of the intrusion geometry with account of the faults to reproduce the correct stress-and-strain state

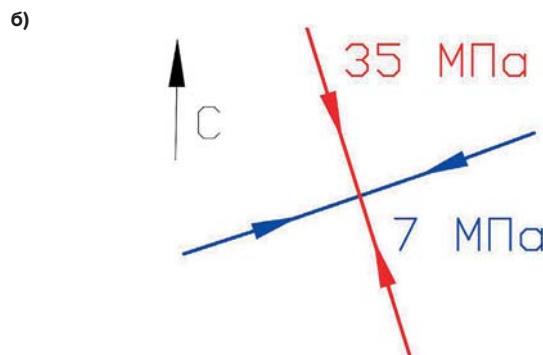
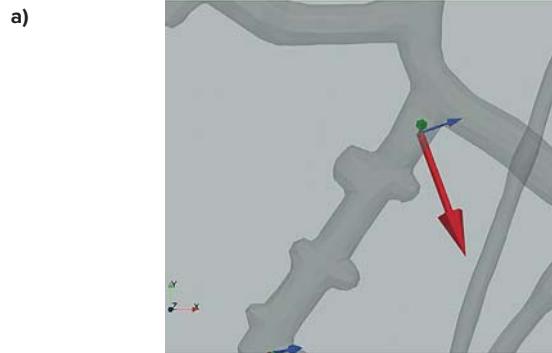


Рис.10
Сравнение локального тензора напряжений:
а – численная модель;
б – натурное измерение

Fig. 10
A comparison of the local stress tensor:
a – a numerical model;
б – in-situ measurements

Однако при обследовании вертикальной выработки в руднике зафиксированы характерные деформации массива с преобладающей горизонтальной составляющей тензора напряжений. По результатам обследования проведена верификация расчётов в модели, где граничные условия до начала отработки были гравитационными, а после отработки до текущего состояния в модели наблюдается высокая степень сходимости результатов моделирования с фактическим состоянием в руднике (рис. 10) как по ориентации компонент тензора напряжений, так и по их значениям. Таким образом, применение предложенной методики не только позволяет формировать сложные глобальные численные модели с учётом тектонических нарушений, но и позволяет довольно точно описывать процессы перераспределения напряжений в результате ведения добывочных работ с их учётом.

Заключение

Представлена и обоснована новая методика моделирования тектонических нарушений с использованием связей конечной жёсткости. Этот подход позволяет задавать ослабленные зоны, соответствующие разломам, в неявной форме, что существенно снижает трудоёмкость подготовки расчётов моделей. Вместо явного моделирования геометрии каждого тектонического нарушения предлагается использование специальных связей – пружин с заданной жёсткостью в определённом направлении, которые воспроизводят механическое поведение ослабленных участков массива.

Для практической реализации разработанной методики создана специализированная надстройка к программному комплексу CAEFidesys. Надстройка выполнена в виде внеш-

него программного модуля на языке Python и обеспечивает возможность автоматического добавления связей конечной жёсткости в расчётную сетку. Это делает методику гибкой и удобной в использовании, позволяя адаптировать её к различным инженерным задачам и условиям.

Проведённая верификация разработанного инструмента на ряде тестовых задач показала высокую точность воспроизведения напряжённо-деформированного состояния в присутствии тектонических нарушений. Методика также была успешно опробована в реальных инженерных проектах, что подтвердило её прикладную ценность и работоспособность.

Таким образом, предложенное решение представляет собой эффективный инструмент для численного моделирования тектонических нарушений и может быть использовано в задачах геомеханического анализа при проектировании и эксплуатации горнотехнических и инфраструктурных объектов, расположенных в зонах со значительным количеством тектонических нарушений.

Список литературы / References

1. Протосеня А.Г., Беляков Н.А., Буслова М.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния блочного горного массива рудных месторождений при отработке системами разработки с обрушением. *Записки Горного института*. 2023;262:619–627. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/15942>(дата обращения: 25.03.2025).
Protosenya A.G., Belyakov N.A., Bouslova M.A. Modelling of the stress-strain state of block rock mass of ore deposits during development by caving mining systems. *Journal of Mining Institute*. 2023;262:619–627. Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/15942>(accessed: 25.03.2025).
2. Мороз Н.Е., Сидоров Д.В., Соннов М.А. Комплексное геомеханическое моделирование разработки жильных месторождений блочного строения. *Горная промышленность*. 2023;(6):71–74. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-71-74>
Moroz N.E., Sidorov D.V., Sonnov M.A. Complex geomechanical modeling of mining vein deposits of block structure. *Russian Mining Industry*. 2023;(6):71–74. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-71-74>
3. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Недра; 1975. 536 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/8568> (дата обращения: 25.03.2025)
4. Treffeisen T., Henk A. Representation of faults in reservoir-scale geomechanical finite element models – A comparison of different modelling approaches. *Journal of Structural Geology*. 2020;131:103931. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2019.103931>
5. Markou N., Papanastasiou P. 3D geomechanical finite element analysis for a Deepwater faulted reservoir in the eastern Mediterranean. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2025;58(1):65–86. <https://doi.org/10.1007/s00603-024-03806-9>
6. Господариков А.П., Зацепин М.А. Математическое моделирование нелинейных краевых задач геомеханики. *Горный журнал*. 2019;(12):16–20.<https://doi.org/10.17580/gzh.2019.12.03>
Gospodarikov A.P., Zatsepin M.A. Mathematical modeling of boundary problems in geomechanics. *Gornyi Zhurnal*. 2019;(12):16–20. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2019.12.03>
7. Atif M., Raghukanth S.T.G., Manam S.R. Finite-fault simulations for rotations and strains in the near-fault subjected to layered reduced micropolar half-space. *Journal of Seismology*. 2023;27(3):537–572.<https://doi.org/10.1007/s10950-023-10140-0>
8. Гайнанов Ш.Х., Аптуков В.Н., Середин В.В. Математическое моделирование трещиноватости пород в пределах локальных структур. Известия Томского политехнического университета. *Инжениринг георесурсов*. 2024;335(1):184–193. <https://doi.org/10.18799/24131830/2024/1/4541>
Gaynanov Sh.Kh.1, Aptukov V.N.1, Seredin V.V. Mathematical modeling of rock sfracture with in local structures. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. *Geo Assets Engineering*. 2024;335(1):184–193. (In Russ.) <https://doi.org/10.18799/24131830/2024/1/4541>
9. Khalifeh-Soltani A., Alavi S.A., Ghassemi M.R., Ganjiani M., Derakhshani R. Elucidating fault-related fold mechanics: a 2D finite element analysis of bending, slip, and buckling mechanisms. *Frontiers in Earth Science*. 2023;11:1295898. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1295898>
10. Augarde C.E., Lee S.J., Loukidis D. Numerical modelling of large deformation problems in geotechnical engineering: A state-of-the-art review. *Soils and Foundations*. 2021;61(6):1718–1735. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2021.08.007>
11. Peikert J., Hampel A., Bagge M. Three-dimensional finite-element modeling of Coulomb stress changes on normal and thrust faults caused by pore fluid pressure changes and postseismic viscoelastic relaxation. *Geosphere*. 2024; 20 (1):105–128. <https://doi.org/10.1130/GES02672.1>
12. Hutka G.A., Cacace M., Hofmann H., Zang A., Wang L., Ji Y. Numerical investigation of the effect of fluid pressurization rate on laboratory-scale injection-induced fault slip. *Scientific Reports*. 2023;13:4437. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30866-8>

13. Novikov A., Behbahani S.S., Voskov D., Hajibeygi H., Jansen J.-D. Benchmarking numerical simulation of induced fault slip with semi-analytical solutions. *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*. 2024;10:182. <https://doi.org/10.1007/s40948-024-00896-1>
14. Мещанинов С.К. Методы моделирования и управления надежностью функционирования горных выработок. Днепропетровск: Национальный горный университет; 2011. 360 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/21426> (дата обращения: 25.03.2025).
15. Захаров В.Н., Филиппов Ю.А., Аверин А.П., Харченко А.В. Геопространственное моделирование рельефа местности и тектонической нарушенности массива горных пород. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2010;(S5):9–13.
Zakharov V.N., Filippov Yu. A., Averin A.P., Kharchenko A.V. Geospatial modeling of topographic features and tectonic faults of the rock mass. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2010; (S5):9–13. (InRuss.)
16. Мирошникова Л.К., Мезентьев А.Ю., Семенякина Н.В., Котельникова Е.А. Геодинамически активные структуры западного фланга Талнахской тектономагматической системы. *Горная промышленность*. 2020;(3):105–112. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-3-105-112>
Miroshnikova L.K., Mezentsev A.Yu., Semenyakina N.V., Kotelnikova E.M. Geodynamically active structures of western flank of Tanakh orogenic system. *Russian Mining Industry*. 2020;(3):105–112. (InRuss.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-3-105-112>
17. Клыков П.И., Зверев Г.В., Наговицын А.В., Петренко И.А., Кудряшова Д.А., Мошкин Н.А. Построение 1D геомеханической модели для сложных горно-геологических условий на примере месторождения Южного Каспия. *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. 2024;(6):12–18.
Klykov P.I., Zverev G.V., Nagovitsin A.V., Petrenko I.A., Kudryashova D.A., Moshkin N.A. Building an 1D geomechanical model for complicated geological conditions using the example of a South Caspian field. *Construction of Oil and Gas Wells on Land and Sea*. 2024;(6):12–18. (InRuss.)
18. Мирошникова Л.К., Мезентьев А.Ю., Кадыралиева Г.А., Перепелкин М.А. Геодинамическое районирование юго-западной части Талнахской тектономагматической системы. *Горная промышленность*. 2021;(6):103–109. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-6-103-109>
Miroshnikova L.K., Mezentsev A.Yu., Kadyralieva G.A., Perepelkin M.A. Geodynamic zoning of the southwestern part of the Talmakh Orogenic System. *Russian Mining Industry*. 2021;(6):103–109. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-6-103-109>

Информация об авторах

Головченко Юрий Юрьевич – научный сотрудник лаборатории геотехники, ООО «Институт Гипроникель», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-2980-2173>; e-mail: GolovchenkoYuYu@nornik.ru

Румянцев Александр Евгеньевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией геотехники, ООО «Институт Гипроникель», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-2204-961X>; e-mail: RumyantsevAE@nornik.ru

Лалин Владимир Владимирович – доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-3850-424X>

Соннов Максим Александрович – действительный член Академии горных наук, заместитель генерального директора ООО «Фидесис», г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0004-3932-5571>; e-mail: Sonnov@cae-fidesys.com

Information about the authors

Yuriy Yu. Golovchenko – Research Associate, Laboratory of Geotechnical Engineering, Gipronickel Institute, St. Petersburg, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2980-2173>; e-mail: GolovchenkoYuYu@nornik.ru

Alexandr E. Rumyantsev – Cand. Sci. (Eng.), Head of the Geotechnical Laboratory, Gipronickel Institute, St. Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-2204-961X>; e-mail: RumyantsevAE@nornik.ru

Vladimir V. Lalın – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Peter the Great St. Petersburg Politechnik University, Saint Petersburg, Russian Federation; Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-3850-424X>

Maksim A. Sonnov – Full Member of the Academy of Mining Sciences, Deputy General Director for Sales, Fidesis LLC, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0004-3932-5571>; e-mail: Sonnov@cae-fidesys.com

Article info

Received: 09.05.2025

Revised: 18.06.2025

Accepted: 21.06.2025

Информация о статье

Поступила в редакцию: 09.05.2025

Поступила после рецензирования: 18.06.2025

Принята к публикации: 21.06.2025



Лицензия № РВ-00-008712 от 15.05.2008г.

С ДНЕМ ШАХТЕРА!

Поздравляем с профессиональным праздником – с Днем Шахтера!

Желаем Вам крепкого здоровья, удачи, спокойных трудовых будней, надежных товарищ по работе, быть гордостью в сердцах дорогих людей, примером мужества и оптимизма в глазах окружающих.

Чтобы стойкость и сила никогда Вас не покидали, ваши крепкие руки не знали усталости и количество спусков равнялось количеству подъемов.

Спасибо за тепло и свет, которые благодаря вашему труду есть в наших домах!

С уважением, коллектив АО "НМЗ "Искра"

16+



**MiningWorld
Summit**

2–4 декабря 2025

Hyatt Regency Petrovsky Park
Москва

**Руководители горнодобывающих
предприятий и поставщики отрасли –
вместе на MiningWorld Summit 2025!**

Актуальные задачи российской горной отрасли, практический опыт реализации проектов и нетворкинг – присоединяйтесь в декабре.



Скидка на любой
делегатский пакет
по промокоду
mwsummit



Природоподобные решения некоторых проблем горного производства

Д.И. Борисенко✉

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва, Российской Федерации
✉ dima-luxinzh@mail.ru

Резюме: Убыль запасов урана и тория в разведанных месторождениях и на складах может быть компенсирована за счёт извлечения их из угля. Поскольку чем больше урана в угле, тем более он склонен к самовозгоранию, важная проблема на пути разработки таких углей – подземные (эндогенные) пожары в угольных пластах. Однако, используя принципы природоподобия, можно рассмотреть эти пожары не как проблему, а как процесс обогащения ураном содержащей его среды. При сгорании угля в образующейся золе увеличивается концентрация радиоактивных элементов. В связи с этим интерес представляют очаги пожара и максимально точное определение пространственно-временного положения их границ. Для этого представляется перспективным применение акустической диагностики. Для упрощения технологии извлечения радиоактивных элементов из содержания очагов пожара в угольных пластах предлагается использовать неметаллические анкерные крепи. Цель настоящей работы – рассмотреть пожары в угольных пластах не как проблему угольной промышленности, а как возможность для получения урана.

Ключевые слова: уголь, уран, истощение запасов, дефицит урана, содержание урана в угле, очаги пожара в угольных пластах, природоподобие, акустическая диагностика, анкерная крепь

Благодарности: Автор выражает глубокую признательность сотрудникам Курчатовского института В.Ю. Бландинскому, В.М. Вершинину, А.В. Гролю, М.В. Кормилицыну, В.А. Невинице, Е.В. Родионовой, П.А. Фомиченко, В.Ф. Шикалову и Т.Д. Щепетиной за ценные консультации и предоставление литературы, а также М.Р. Сарухановой и М.В. Цапакиной за поиск информации и Е.Г. Байракдар за корректировку рукописи.

Для цитирования: Борисенко Д.И. Природоподобные решения некоторых проблем горного производства. *Горная промышленность*. 2025;(4):86–90. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-86-90>

Nature-like solutions to some mining issues

D.I. Borisenko✉

National Research Centre “Kurchatov Institute”, Moscow, Russian Federation
✉ dima-luxinzh@mail.ru

Abstract: It is possible to compensate for the depletion of uranium and thorium reserves in the explored deposits and storages by extracting them from coal. A critical challenge concerned with the development of such coals is underground (spontaneous) fires in coal seams, since the more uranium is contained in coal, the more such coals are prone to spontaneous combustion. However, using the principles of nature-similarity, these fires can be considered not as a problem, but as a process of increasing the uranium content in the environment. When coal burns, concentration of the radioactive elements in the resulting ash increases. In this regard, fire sources and the most accurate determination of the spatiotemporal position of their boundaries are of interest. The use of acoustic diagnostics seems promising for this purpose. Non-metallic rock bolt supports are proposed to be used to simplify the technology of extracting radioactive elements from the content of fire sources in coal seams. The objective of this paper is to examine coal seam fires not as a problem for the coal industry, but as an opportunity for uranium production.

Keywords: coal, uranium, depletion of reserves, uranium deficit, uranium content in coal, coal seam fires, nature-likeness, acoustic diagnostics, rock bolting, anchor support

Благодарности: The author expresses profound gratitude to the staff of the Kurchatov Institute including V.Yu. Blandinsky, V.M. Vershinin, A.V. Grol, M.V. Kormilitsyn, V.A. Nevinitza, E.V. Rodionova, P.A. Fomichenko, V.F. Shikalov, and T.D. Shchepetina for valuable advice and providing literature, as well as to M.R. Sarukhanova and M.V. Tsapakina for search and to E.G. Bayrakdar for correction of the manuscript.

For citation: Borisenko D.I. Nature-like solutions to some mining issues. *Russian Mining Industry*. 2025;(4):86–90. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-86-90>

Введение

Общемировые тенденции добычи и потребления урана развиваются так, что в течение ближайших лет начнётся его дефицит [1, с. 45–46], причём это с учётом разработки считающихся на данный момент нерентабельных мест-

рождений¹ и использования оружейного урана со складов [2, с. 14].

¹ Supply of Uranium. Nuclear Fuel Report. 2024. World Nuclear Association. Supply of Uranium. London: WNA; 2024: pp. 8. Available at: <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/supply-of-uranium> (accessed: 15.02.2025).

В Российской Федерации ситуация такова, что в настоящее время осуществляется добыча урана при его содержании 0,002%, т.е. 20 г/т (Далматовское месторождение в Курганской области)², а в течение ближайших десяти лет планируется разработка месторождений с содержанием урана в сотни грамм на тонну шахтным способом. В соответствии с согласованным в 2017 г. техническим проектом в 2034–2055 гг. планируется освоение подземным способом Жерлового месторождения Стрельцовского рудного поля в Забайкальском крае, на котором содержание урана составляет 0,08%, т.е. 800 г/т³.

Это же подтверждается независимыми исследованиями [3, с. 47–48]: в последние годы пополнение запасов урана (за счёт разведки новых месторождений и переоценки известных) на порядок отстаёт от их выбытия из-за добычи, потери в недрах и переоценки.

Одним из возможных направлений может стать добыча урана из углей. Как указано в работе [4, с. 216], вмещающие уголь песчаники выступают в роли зон пластового окисления, а угли – в роли восстановительного барьера, на котором осаждается уран. В работе [5, с. 182] говорится, что одни из основных источников поступления радиоактивных элементов в угли – месторождения-спутники. Это угольные бассейны, образовавшиеся в обрамлениях и складчатостях метаморфических и магматических горных пород, обогащенных радиоактивными элементами. Миграция урана и тория в осадочные толщи угольного бассейна обеспечивает обогащение углей и вмещающих пород до промышленных масштабов.

Содержание урана в угле в среднем – кларки – единицы грамм на тонну, но, во-первых, существует определённая бимодальность [6, с. 15], а во-вторых, от месторождения к месторождению этот показатель может меняться в 1000 раз и более [7, с. 76]. Причём наличие урана в угле является проблемой для угольной промышленности и для угольной энергетики. Например, в работе [8, с. 57–59] говорится про кратное увеличение концентрации урана в продуктах сжигания углей по отношению к исходному топливу, т.е. увеличивается радиоактивность выбросов с объектов, сжигающих уголь.

Кроме этого, в угольных пластиах есть большая неприятность – эндогенные пожары, которые несмотря на все меры безопасности довольно часто возникают и создают массу проблем в безопасности, экологии и экономике. Ежегодно на борьбу с пожарами и их последствиями тратятся большие средства, по некоторым оценкам [9] в одном Китае только из-за потерь угля, вызванных эндогенными пожарами, убытки составляют сотни миллиардов долларов ежегодно.

Целью настоящей работы является рассмотреть пожары в угольных пластиах не как проблему угольной промышленности, а как возможность для получения урана.

Методы

Рассмотрим совместно проблемы получения дополнительного источника урана и эндогенных пожаров в углях, опираясь на литературные данные, качественные оценки и здравый смысл. Недаром Д.И. Менделеев отмечал, что банально – для получения теплоты – сжигать углеводороды (не только нефть) – то же самое, что топить печку асигнациями [10].

² О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году: государственный доклад. М.; 2021. С. 100. Режим доступа: <https://rosnedra.gov.ru/data/Files/File/7992.pdf> (дата обращения: 15.02.2025).

³ Там же. С. 98.

Природа, миллионы лет существующая в рамках замкнутого самосогласованного ресурсооборота, не знает ресурсных кризисов и энергетического голода [11, с. 456]. Подобно тому, как в живой природе существуют организмы, пытающиеся отходами других организмов, так и в не живой природе одни явления и процессы связаны с другими. Причём как накопление различных элементов (в т.ч. U), так и эндогенные пожары в угле, происходят (и происходили раньше) независимо от деятельности человека. Известны случаи, когда возникшие эндогенные пожары наблюдались тысячелетиями, например, подземное горение угля в урочище Кухи Малик в долине реки Ягноб на территории Таджикистана упоминается ещё в «Естественной истории» Плиния Старшего⁴, жившего в 23–79 гг. н.э.

Результаты

Важным вопросом в добыче урана из угля является рентабельность. Например, содержание урана в угле на разрезе «Итатский» достигает 139 г/т [5, с. 183], что соответствует значению наиболее крупного Улуг-Танзекского месторождения (0,014%), где сосредоточено примерно 15% всего российского урана⁵. Следует отметить, что в Улуг-Танзекском месторождении уран находится в щелочных метасоматитах в качестве попутного компонента редких металлов, т.е. плотность вмещающих пород кратно больше, чем плотность угля. Соответственно, объём горной массы, которую надо обработать на единицу урана, для угля больше. В Курчатовском институте сохранены и развиты компетенции по выявлению содержания радиоактивных и редких элементов в горных породах с точностью для урана в десятки миллиграмм на тонну [12, с. 89]. Кроме этого, имеется опыт применения дистанционной диагностики содержания указанных элементов в завалах из камней, бетона и строительного мусора с помощью мобильных автоматических средств [12, с. 38–39, 80–104].

Как отмечено в работе [8, с. 61], процессы угольного метаморфизма ведут к потере органическим веществом угля радиоактивных элементов. При этом известно, что эндогенные пожары в России связаны не с объёмом добычи, а в числе прочего со степенью метаморфизма углей [13, с. 21]. Причём склонность углей к самонагреванию увеличивается с понижением степени их метаморфизма [14, с. 164]. При этом специальным исследованием [15, с. 72] установлено, что радиоактивность прямо пропорциональна зольности. А повышенная зольность является признаком склонности к самовозгоранию – в работе [16, с. 196] даже указывается на возможность дифференцировать угольные пласти по степени склонности их к самовозгоранию в пределах угольной залежи по этому фактору.

То есть чем более уголь склонен к самовозгоранию, тем больше в нём урана и тория.

При этом, как было указано выше, при сгорании угля концентрация урана в его золе кратно увеличивается. А в работе [17, с. 375] и вовсе указывается, что при сжигании кузнецких углей на ТЭС в их золах происходит концентрирование радиоактивных элементов до 15 раз и зависит от полноты озоления угля, марочного состава и зольности угля.

Интереснее обстоит дело при сгорании угля в пласте. В работе [6, с. 40] упоминается весьма необычный тип эпи-

⁴ Горная энциклопедия: в 5 т. Т. 4. (Ортин – Социосфера). М.: Советская энциклопедия; 1989. С. 439.

⁵ О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году: государственный доклад. М.; 2021. С. 99. Режим доступа: <https://rosnedra.gov.ru/data/Files/File/7992.pdf> (дата обращения: 15.02.2025).

генетического обогащения ураном нижнеюрских бурых углей Канско-Ачинского бассейна – под влиянием природного горения угля. При фоновых содержаниях урана в этих углях не выше 4 г/т, в верхней части пласта сажистого угля, залегающего под пестроцветными глинами с муллитом и кристобалитом (продукты обжига), содержание U достигает 500–800 г/т.

Попробуем оценить целесообразность добывания урана из угля или из его золы вместо добычи самого угля. Будем исходить из сегодняшних цен. Цена тонны угля составляет 95,05 долл. США за тонну⁶. Цена урана составляет 65,05 долл. США за фунт⁷, т.е. за тонну 143 410,53 долл. США. То есть уран в полторы тысячи раз дороже абстрактного угля по Trading Economics. Если смотреть цены на конкретные угли, то в зависимости от марки и месторождения цена варьируется больше, чем на порядок. Так, цена бурого угля марки БО при покупке от 1000 т составляет 800 руб/т⁸, а цена антрацита марки АО – 22 000 руб/т⁹. Как отмечено выше, чем ниже степень метаморфизма, тем больше содержание урана, т.е. если проводить сопоставление не с абстрактным углём, а конкретно с бурым, то соотношение цен угля и урана увеличится ещё на порядок. Указанная выше цена на уран при переводе в рубли по курсу ММВБ на 18.04.2025 (1 долл. США = 82,02 руб.) составляет $143\ 410,53 \cdot 82,02 = 11\ 762\ 531,67$ руб. Если это значение поделить на оптовую цену для бурого угля, то получим $11\ 762\ 531,67 / 800 = 14\ 703$ раза.

Теперь надо определиться с коэффициентом содержания U в угле. Отметим, что данные по отечественным месторождениям с высокими значениями содержания урана и тория в углях являются закрытыми. Но для качественной оценки можно отталкиваться от данных для других регионов. Например, содержание U в угленосной толще карбона Верхнесилезского бассейна (Польша) – до 2660 г/т (0,27%); в олигоценовом месторождении Драма в Северной Греции – до 5064 г/т (0,51%) [8, с. 35–36]; в эрозионных останцах на столовой горе Ла-Бентана – свита Мезаверде (США, штат Нью-Мексико) местами содержание U достигает 0,62% (или 1,84% на золу) [6, с. 47]. Безусловно, величины распределены и ориентироваться на максимальные значения при рассмотрении промышленной добычи не стоит. Но отметим, что максимальные значения имеют другой порядок (например, в работе [6, с. 38] приводится фантастическая цифра – более 56%). Поэтому для оценок с запасом примем концентрацию урана в перспективном с точки зрения получения U угле 0,1% (1000 г/т), т.е. одна тысячная. Если выше, то ещё выгоднее.

Если исходить из приведенных выше цен, то урана в тонне угля при концентрации в 0,1% содержится на $11\ 762\ 531,67 \cdot 0,001 = 11\ 762,53$ руб. То есть содержащийся в одной тонне угля уран в $11\ 762,53 / 800 = 14,7$ раза больше по стоимости, чем сам вмещающий его уголь.

Обсуждение результатов

Как следует из полученных выше значений, стоимость урана, содержащегося в угле, превышает стоимость этого угля. Понятно, что при учёте стоимости дальнейшего

обогащения и мероприятий на поддержание безопасности, соотношение может измениться, но тем не менее. Главное – и в этом один из принципов природоподобия – уран можно извлекать не из добываемого угля, а из того, что осталось на месте очагов пожара – золы и обгоревшего штыба. Для угольной промышленности эти зоны уже представляют не интерес, а проблему. Их наличие требует проведения специальных мероприятий при борьбе с активной фазой пожара (возведения перемычек, инертизации рудничной атмосферы, иногда затопления выработок), а также непрерывного поддержания состава воздуха (подачи азота), когда пожар подавлен. Однако с точки зрения получения урана эти места весьма перспективны.

Отметим, что для дальнейшего использования содержащего зон очагов пожара нужно не просто констатировать их наличие, но и знать их точные координаты [18; 19]. Для этого нужно отслеживать пространственно-временное положение их границ. Наиболее подходящей для этого представляется акустическая диагностика. Акустическая диагностика включает в себя пассивные [20; 21], активные [22; 23] и комбинированные [24; 25] способы.

Отметим также, что в средах (горных породах, углях), содержащих радиоактивные элементы, металлические объекты загрязняются в радиоактивном смысле [26, с. 257]. Соответственно, для пластов угля, склонных к самовозгоранию и из которых в будущем может быть осуществлено извлечение радиоактивных элементов, следует минимизировать применение металлических объектов. Или заменить их такими, в которых содержатся преимущественно атомы углерода и водорода. Безусловно, такие объекты, как рельсы или силовые кабели, во-первых, заменить на неметаллические нетривиально, а во-вторых, в силу особенностей геометрических характеристик (протяжённые тонкие объекты, локализованные на одной линии) непринципиально. Другое дело – анкерные крепи, выполнение их неметаллическими очень желательно. Это позволит сократить количество технологических процедур при дальнейшей переработке того, что будет извлекаться из зон, где были очаги пожара. То есть если анкеры будут не сильно отличаться по составу от вмещающего угля, то могут быть перерабатываемы вместе с этим углем без предварительного удаления и отдельной обработки.

Технология выемки обогащённых радиоактивными элементами продуктов горения из мест бывших очагов пожара в угольных пластах составляет отдельную задачу и является предметом дальнейших изысканий.

Заключение

Можно сделать следующие выводы:

- в очагах пожара в угольных пластах повышается концентрация радиоактивных элементов;
- определение пространственно-временного положения границ очагов пожара в угольных пластах предлагается осуществлять с помощью акустической диагностики;
- для удобства дальнейших действий по выемке содержания очагов пожара в угольных пластах и извлечения из него радиоактивных элементов предлагается минимизировать использование металлических изделий в склонных к самовозгоранию пластах угля, в частности, применять неметаллические анкерные крепи в горных выработках.

⁶ Trading Economics. Available at: <https://tradingeconomics.com> (accessed: 18.04.2025).

⁷ Ibid.

⁸ Prom Portal. Режим доступа: <https://promportal.su> (дата обращения: 18.04.2025).

⁹ ООО «Сухогруз». Режим доступа: <https://sukhogruz.ru> (дата обращения: 18.04.2025).

Список литературы / References

1. Weiss R., Gandolfi S. Nuclear three-body short-range correlations in coordinate space. arXiv:2301.09605. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2301.09605>
2. Егорова И.В. Перспективы мирового рынка природного урана. *Руды и металлы*. 2023;(1):6–16. <https://doi.org/10.47765/0869-5997-2023-10001>
Egorova I.V. Prospects for the natural uranium world market. *Ores and Metals*. 2023;(1):6–16. (In Russ.) <https://doi.org/10.47765/0869-5997-2023-10001>
3. Сендеров С.М. Воспроизведение минерально-сырьевой базы ТЭК как важнейшая составляющая обеспечения энергетической безопасности России. В кн.: *Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: материалы 96-го заседания Международного научного семинара им. Ю.Н. Руденко, г. Архангельск, 15–19 июля 2024 г.* Иркутск: Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН; 2024. С. 40–50.
4. Ибламинов Р.Г. Геолого-промышленные типы месторождений полезных ископаемых. *Рудные месторождения*. Пермь: ПГНИУ; 2021. 278 с. Режим доступа: <https://elis.psu.ru/node/642780> (дата обращения: 21.04.2025).
5. Никитенко С.М., Патраков Ю.Ф., Никитенко М.С., Кизилов С.А., Харлампенкова Ю.А. Геотехнологические перспективы использования радиационных свойств угля и породы. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2021;(6):181–189. <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20210617>
Nikitenko S.M., Patrakov Y.F., Nikitenko M.S., Kizilov S.A., Kharlampenkova Y.A. Radiation properties of coal and barren rocks: geotechnical applications. *Journal of Mining Science*. 2021;57(6):1041–1048. <https://doi.org/10.1134/S106273912106017X>
6. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. *Уран в углях*. Сыктывкар; 2001. 84 с.
7. Сидорова Г.П., Крылов Д.А. Радионуклиды в углях и продуктах их сжигания. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2016;61(2):75–78. Режим доступа: <https://medradiol.fmbafmbc.ru/issues?id=328> (дата обращения: 21.04.2025).
Sidorova G.P., Krylov D.A. Radioactive elements in coals and their combustion products. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2016;61(2):75–78. Available at: <https://medradiol.fmbafmbc.ru/issues?id=328> (accessed: 21.04.2025).
8. Арбузов С.И., Ильенок С.С., Чекрыжов И.Ю. Радиоактивные элементы (U, Th) в углях Северной Азии. В кн.: Язиков Е.Г. (ред.) *Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы 4-й Международной конференции, г. Томск, 20–24 сент. 2021 г.* Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет; 2021. С. 55–62.
9. Борисенко Д.И., Семенов Е.В. Экономический ущерб от подземных пожаров в Китае и России. В кн.: *Наука и общество 2019: материалы Национальной научной конференции с международным участием, г. Кърджали (Болгария), 2-3 окт. 2019 г.* Кърджали: Издава «РКР Принт» ООД; 2019. Т. 7. С. 495–500.
10. Менделеев Д.И. *Нефтяная промышленность в Северо-Американском штате Пенсильвании и на Кавказе*. СПб.: тип. т-ва «Обществ. польза»; 1877. 304 с.
11. Ковалчук М.В., Нарайкин О.С., Ятишина Е.Б. Природоподобные технологии: новые возможности и новые вызовы. *Вестник Российской академии наук*. 2019;89(5):455–465. <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895455-465>
Kovalchuk M.V., Naraikin O.S., Yatishina E.B. Nature-like technologies: new opportunities and new challenges. *Vestnik Rossiiskoy akademii nauk*. 2019;89(5):455–465. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895455-465>
12. Волков В.Г., Чесноков А.В.; Пономарев-Степной Н.Н. (ред.) *Реабилитация радиационного наследия. Научно-технический опыт Курчатовского института*. М.: ИздАТ; 2008. 119 с.
13. Новоселов С.В., Попов В.Б., Голик А.С. Оценка риска возникновения эндогенных пожаров в угольных шахтах. *Уголь*. 2020;(5):21–25. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2020-5-21-25>
Novoselov S.V., Popov V.B., Golik A.S. Risk assessment of endogenous fires in coal mines. *Ugol'*. 2020;(5):21–25. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2020-5-21-25>
14. Голынская Ф.А. Степень метаморфизма как главный генетический признак самовозгорающихся углей. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2013;(7):164–169. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2013/7/164-169-Golinskaya_-_6_str.pdf (дата обращения: 21.04.2025).
Golynskaya F.A. Metamorphism intensity as the main genetic trait of self-combustion coal. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2013;(7):164–169. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2013/7/164-169-Golinskaya_-_6_str.pdf (accessed: 21.04.2025).
15. Сидорова Г.П., Маниковский П.М., Якимов А.А., Овчаренко Н.В. Оценка потенциальной опасности углей и отходов их переработки на угольных месторождениях Приаргунской группы Забайкальского края. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2024;(12):62–77. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2024/12/12_2024_62-77.pdf (дата обращения: 21.04.2025).
Sidorova G.P., Manikovskiy P.M., Yakimov A.A., Ovcharenko N.V. Hazard assessment of coals and processing waste in the Argun area in Transbaikalia. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2024;(12):62–77. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2024/12/12_2024_62-77.pdf (accessed: 21.04.2025).

16. Голынская Ф.А. Оценка геологических факторов самовозгорания углей ведущих угольных бассейнов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2010;(11):193–203. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2010/11/Golynskaya_11_2010.pdf (дата обращения: 21.04.2025).
Golynskaya F.A. The evaluation of coal ignitability factors at the largest coal basins. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2010;(11):193–203. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2010/11/Golynskaya_11_2010.pdf (accessed: 21.04.2025).
17. Крылов Д.А., Сидорова Г.П. Оценка содержания радиоактивных элементов в углях и продуктах их сжигания. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(7):369–376.
Krylov D.A., Sidorova G.P. Evaluation of the content of radioactive elements in coals and products of combustion. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2015;(7):369–376. (In Russ.)
18. Anghelescu L., Diaconu B.M. Advances in detection and monitoring of coal spontaneous combustion: techniques, challenges, and future directions. *Fire*. 2024;7(10):354. <https://doi.org/10.3390/fire7100354>
19. Коршунов Г.И., Мироненкова Н.А., Полещук А.А. Актуальные методы определения очагов самовозгорания на угольных шахтах. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2025;(5):169–180. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2025/5/04_2025_169-180.pdf (дата обращения: 21.04.2025).
Korshunov G.I., Mironenkova N.A., Poleshchuk A.A. The topical methods of detecting spontaneous combustion sources in coal mines. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2025;(5):169–180. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2025/5/04_2025_169-180.pdf (accessed: 21.04.2025).
20. Борисенко Д.И. Акустический способ диагностики очагов пожаров в угольных пластах. *Уголь*. 2013;(9):44–45.
Borisenko D.I. Acoustic method of the fire centers diagnostics in coal layers. *Ugol'*. 2013;(9):44–45. (In Russ.)
21. Kong B., Zhong J., Lu W., Hu X., Gao L., Zhuang Z. et al. Progress in the study of acoustic effects and precursor characteristics during spontaneous combustion of coal. *Coal Science and Technology*. 2025;53(2):211–221. (In Chinese) <https://doi.org/10.12438/cst.2024-0157>
22. Lee M.R. et al. Vibroseis application becoming world-wide. *World Petroleum*. 1963;34(3):85.
23. Pietsch K., Slusarczyk R., Dec J. O możliwości lokalizowania stref bezpokładowych przy zastosowaniu sejsmiki węglowej. *Zeszyty naukowe politechniki śląskiej. Serie: Gornictwo*. 1987;155(1021):157–170.
24. Потапов С.Л. Контроль перемещения фронта горения и состояния кровли при подземном сжигании угля с использованием взрывных сигнализаторов [дис. ... канд. техн. наук]. М.; 1990. 164 с.
25. Гладун Ю.В. Разработка сейсмоакустических методов контроля границ выработанного пространства при подземном сжигании угля [автoref. дис. ... канд. техн. наук]. М.; 1990. 19 с.
26. Лебедев В.А., Карабута В.С. Проблемы обеспечения радиационной безопасности в нефтедобывающей промышленности России. *Молодой ученый*. 2016;(1):257–261. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/105/24728/> (дата обращения: 21.04.2025).
Lebedev V.A., Karabuta V.S. Problems of the provision of the radiation safety in the oil industry of Russia. *Molodoi Uchenyi*. 2016;(1):257–261. (In Russ.) Available at: <https://moluch.ru/archive/105/24728/> (accessed: 21.04.2025).

Информация об авторе

Борисенко Дмитрий Иванович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: dima-luxinzhi@mail.ru

Information about the author

Dmitry I. Borisenko – Cand. Sci. (Eng.), Leading Research Associate, National Research Centre “Kurchatov Institute”, Moscow, Russian Federation; e-mail: dima-luxinzhi@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 11.05.2025
Поступила после рецензирования: 10.06.2025
Принята к публикации: 20.06.2025

Article info

Received: 11.05.2025
Revised: 10.06.2025
Accepted: 20.06.2025



TEFSA® – один из самых крупных заводов по производству фильтров в Европе. Компания основана в 1974 году, головной офис и завод расположены в Барселоне, Испания.

Основная продукция TEFSA® – это камерные и мембранные автоматические фильтр-пресссы.

Производственная программа TEFSA включает в себя:

- фильтр-пресссы с верхним подвесом плит
- фильтр-пресссы с боковым подвесом плит
- ленточные фильтр-пресссы
- фильтры под давлением: листовые и свечные
- вакуумные фильтры: ленточные и барабанные
- автоматические установки приготовления полизелектролитов
- сгустители шлама

Компания «Астериас» является поставщиком фильтров TEFSA® и производителем фильтроэлементов из технических тканей и фильтрующих материалов для промышленных фильтров.

Мы производим:

- фильтровальные салфетки для пресс-фильтров камерных и мембранных
- фильтровальные рукава и фильтровальные мешки для рукавных фильтров
- фильтровальные ленты для башенных и ленточных фильтров
- чехлы для дисковых вакуум-фильтров
- нестандартные фильтровальные элементы к промышленным фильтрам
- фильтровальные элементы для улавливания микрочастиц

РЕКЛАМА

16+



Обновленная классификация аэродинамических сопротивлений горных предприятий

С.С. Кобылкин✉, Д.А. Федоров, И.И. Кузнецов

Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация

✉ kobyln.s@misis.ru

Резюме: Проветривание шахт и рудников основное мероприятие по обеспечению промышленной безопасности. В настоящее время существуют проблемы с методической базой по проектированию вентиляции. Для разработки документов по проведению расчётов проветривания требуются дополнительные исследования в части определения и учета аэродинамического сопротивления горных выработок. Предложена обновленная классификация аэродинамических сопротивлений с учетом возможностей существующих приборов контроля параметров рудничной атмосферы. Актуализированы сведения по лобовым аэродинамическим сопротивлениям для горных предприятий. В частности, предложено к лобовым сопротивлениям относить только те, что возникают вследствие движения объекта (например, самоходной горной техники). Препятствия в виде рудничных стоек, стационарного горного оборудования, различных материалов, расположенные в горной выработке длиной не более 19 м, будут относиться к местным сопротивлениям. В основе предлагаемой классификации лежит сформированное и устоявшееся в России научное мнение о существовании трех видов аэродинамического сопротивления. Уточнение классификации выполнено только в части того, что относить к каждому из трех видов сопротивлений.

Ключевые слова: рудник, шахта, вентиляция, аэродинамическое сопротивление, проектирование вентиляции, промышленная безопасность, лобовое сопротивление, местные сопротивления

Для цитирования: Кобылкин С.С., Федоров Д.А., Кузнецов И.И. Обновленная классификация аэродинамических сопротивлений горных предприятий. *Горная промышленность*. 2025;(4):92–96. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-92-96>

New classification of mine ventilation resistance

S.S. Kobylnkin✉, D.A. Fedorov, I.I. Kuznetsov

National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation

✉ kobyln.s@misis.ru

Abstract: Mine ventilation is the main measure to ensure industrial safety. Currently, there exist issues with the methodological basis for ventilation design. Additional research is required to determine and account for the aerodynamic resistance in mine workings in order to develop documents for ventilation calculations. An updated classification of aerodynamic resistance is proposed taking into account the technical capacity of devices used to monitor the mine air parameters. The paper revises information on frontal resistances in mines. In particular, it is proposed to categorize as the frontal resistance only those resistances that arise due to the movement of objects, e.g. mobile mining equipment. Obstacles such as the mine posts, stationary mining equipment, various materials placed in the mine workings with the length not exceeding 19 m will be referred to as the local resistances. The proposed classification is based on the existing scientific opinion on the presence of the three types of aerodynamic resistance, which is well-established in Russia. Elaboration of this classification is made only in terms of what should be referred to each of the three types of the resistance.

Keywords: mine, shaft, ventilation, air-flow resistance, ventilation design, industrial safety, frontal resistance, local resistance

For citation: Kobylnkin S.S., Fedorov D.A., Kuznetsov I.I. New classification of mine ventilation resistance. *Russian Mining Industry*. 2025;(4):92–96. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-92-96>

Введение

Вопросы обеспечения безопасности на горных предприятиях являются приоритетными. Наиболее острый вопрос связан с эффективным проветриванием. В настоящее время нет действующего документа по проектированию вентиляции угольных шахт и рудников. Существовавшее ранее Руководство по проектированию вентиляции шахт, утвержденное Минуглепром СССР от 15.08.1989 г., в настоящее время не действует. Ряд вопросов, касающихся определения

величины аэродинамического сопротивления, требует пересмотра. Существующие эмпирические коэффициенты, указанные в справочниках, не учитывают изменившиеся виды технологий, применяемые для проходки горных выработок, современные виды крепи и горное оборудование. Отдельно обращает на себя внимание вопрос определения и учета величины местного и лобового аэродинамического сопротивления. Данные виды сопротивлений при проектировании вентиляции шахт и рудников не учитываются.

В России выделяют три вида аэродинамических сопротивлений (трения, местные и лобовые). В зарубежных странах лобовое аэродинамическое сопротивление отнесено к местным аэродинамическим сопротивлениям [1; 2].

При проектировании вентиляции шахт и рудников учитывается только аэродинамическое сопротивление трения. Оно обусловлено трением движущегося воздуха о борта, почву и кровлю горных выработок. Исследованиям данного вида аэродинамических сопротивлений посвящено большое количество работ выдающихся ученых, таких как А.А. Скочинский, В.Б. Комаров, А.И. Ксенофонтова, П.И. Мустель, В.В. Кашибадзе, А.А. Харев и др. В настоящее время требуется пересмотр существующих справочников по рудничной вентиляции в части представленных там значений коэффициентов аэродинамического сопротивления трения для горных выработок большого сечения – более 20 м². А для учета местных и лобовых аэродинамических сопротивлений требуется обновить существующую классификацию.

Местные аэродинамические сопротивления

Исследованиями местных аэродинамических сопротивлений активно занимаются в настоящее время [2–10]. Получены зависимости для некоторых видов соединений горных выработок. Однако они практически никак не учитываются при проектировании вентиляции шахт и рудников. По мнению некоторых авторов, их общешахтная величина может доходить до 20% [2–7], а по некоторым данным – до 50% [8] от общей величины аэродинамического сопротивления трения в зависимости от схемы проветривания. В Руководстве по проектированию вентиляции угольных шахт рекомендуется принимать во внимание, что величина общего шахтного аэродинамического сопротивления, обусловленного местными потерями, принимается равной 10% от общего аэродинамического сопротивления трения, однако в работе [9] данное решение подвергается сомнению.

На основе проведённого анализа вентиляционных планов всех шахт России был выявлен ряд местных сопротивлений, которые ранее не учитывались в исследованиях

[10]. В результате проделанной работы была разработана отдельная классификация всех встречающихся местных сопротивлений, образующихся при сопряжении горных выработок:

1. Примыкающая тупиковая горная выработка.
2. Т-образное сопряжение горных выработок.
3. Сопряжение четырех горных выработок.
4. Сопряжение трех горных выработок с одной тупиковой.
5. Сопряжение двух горных выработок с двумя тупиковыми.
6. Сопряжение пяти горных выработок.
7. Сопряжение четырех горных выработок с одной тупиковой.
8. Сопряжение трех горных выработок с двумя тупиковыми.
9. Сопряжение двух горных выработок с тремя тупиковыми.

При этом в данной части общей классификации рассматриваются для всех случаев наличие тупиковых горных выработок, наличие в примыкающих горных выработках вентиляционных сооружений, направление воздушного потока, утечки и подсосы.

Лобовые аэродинамические сопротивления

Лобовые аэродинамические сопротивления изучены в меньшей степени. Большинство исследовательских работ были проведены в 1940–1960 гг. такими учеными, как А.А. Скочинский, А.И. Ксенофонтова, В.В. Кашибадзе, А.А. Харев, И.Е. Идельчик и др.

При проектировании горного предприятия выбор площади сечения горных выработок обусловлен обеспечением заданной производительности предприятия и типом применяемого на нем горного оборудования. Перекрытие сечения горной выработки самоходным горным оборудованием (СГО) может достигать 60%.

В настоящее время под лобовыми аэродинамическими сопротивлениями принято понимать сопротивление, оказываемое потоку находящимся в нем телом. К ним относят:

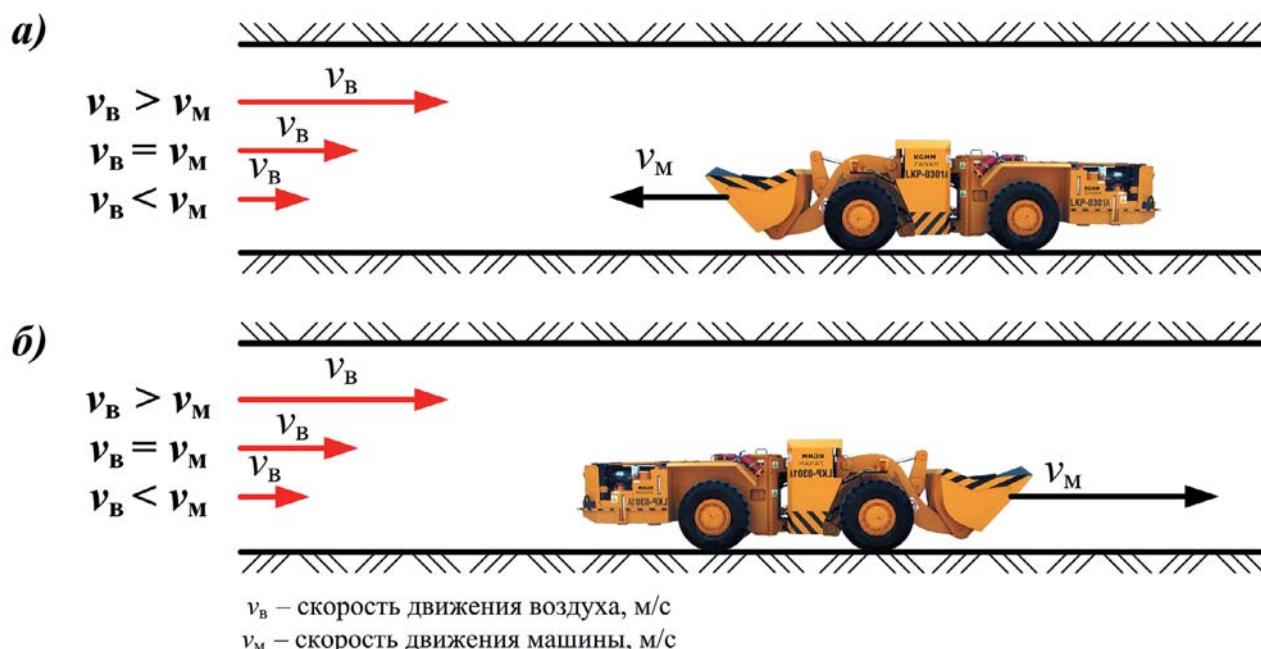


Рис. 1
Схемы движения машин (СГО) относительно движения воздуха

Fig. 1
Patterns of equipment movement (mobile mining equipment) in relation to the air flow

расстрелы, рудничные стойки, вагонетки, горное оборудование (без указания типа этого оборудования). Ранее, до 1949 г., отдельно термин «лобовые сопротивления» не встречается. Впервые он появился в учебнике Рудничная вентиляция А.А. Скочинского и В.Б. Комарова.

В аэrodинамике есть четкое определение термина «лобовое аэродинамическое сопротивление» – сила, препятствующая движению тел в жидкостях и газах. Здесь следует обратить внимание именно на то, что данный вид сопротивления возникает только при движении какого-либо тела или объекта. Лобовое аэродинамическое сопротивление трения рассматривается как состоящее из трех частей: 1) ударной волны, приходящейся на площадь объекта, перпендикулярную набегающему воздушному потоку; 2) аэродинамического сопротивления трения по поверхности объекта; 3) турбулентного сопротивления вихрей за объектом.

При движении СГО по выработкам могут быть различные сочетания направления движения машины и воздушной струи (рис. 1), которые по-разному будут влиять на общее аэродинамическое сопротивление в горной выработке. При встречном движении машины и воздушной струи (рис. 1, а) лобовое сопротивление увеличивается. Если скорость воздушной струи будет существенно меньше скорости движения СГО при условии наличия минимального светового проема, гипотетически возможно опрокидывание воздушной струи. При попутном движении СГО и воздушной струи (рис. 1, б) и при совпадении скоростей лобовое сопротивление будет минимизироваться. Также возможно в таких случаях наблюдать поршневой эффект (дополнительная тяга), что тоже может привести к изменению распределения воздуха в сети горных выработок.

Для оценки влияния лобового аэродинамического сопротивления на аэродинамику шахтных вентиляционных потоков и на распределение воздуха по сети горных выработок важно идентифицировать все источники данного вида аэродинамического сопротивления.

Обновленная классификация аэродинамических сопротивлений

Из анализа российских источников (учебников, справочников, монографий и диссертаций) можно сделать вывод, что под лобовым аэродинамическим сопротивлением принято понимать препятствия, которые можно условно разделить на три группы: распределенные (рудничные и гидростойки), локальные (горное оборудование) и самоходная горная техника (электровозы, шахтные самосвалы, порода-доставочные машины и т.п.).

Данный перечень не отражает всех возможных случаев, идет в противоречие с понятием лобового аэродинамического сопротивления из аэродинамики в авиа- и автостроении и не коррелируется с международными понятиями видов аэродинамических сопротивлений в горном деле. Для дальнейших исследований необходимо сделать классификацию аэродинамических сопротивлений и устранить противоречия.

В основе предлагаемой классификации лежит сформированное и устоявшееся в России научное мнение о существовании трех видов аэродинамических сопротивлений (трение, местные и лобовые аэродинамические сопротивления). Уточнение классификации будет только в части того, что относить к каждому из трех видов сопротивлений.

В настоящее время минимальный перепад давления, который можно измерить существующими приборами в рудничном исполнении (ММН-2400), равен $h_{ct} = 1$ Па. У при-

бора МБГО-2 погрешность измерения дифференциального давления равна $5 \pm 0,15$ Па. Такой перепад давления можно измерить только на определенной длине ($L_{изм}$) и при определенной комбинации параметров (α, P, v и S) исходя из известной зависимости

$$L_{изм} = h_{ct} \cdot S / \alpha \cdot P \cdot v^2 = h_{ct} \cdot d / 4 \cdot \alpha \cdot v^2.$$

С учетом того что периметр P , м, и площадь сечения S , м², горной выработки связаны через гидравлический диаметр d , м, можно сделать следующий вывод: длина участка $L_{изм}$, на котором можно измерить депрессию в 1 Па, будет при минимальных значениях гидравлического диаметра горной выработки d , м, и скорости движения воздуха v , м/с, а также при наибольшем значении коэффициента аэродинамического сопротивления трения α , кгс·с²/м⁴.

Минимальный гидравлический диаметр горной выработки может быть принят 1 м, что соответствует вентиляционной скважине или вентиляционному восстающему круглой формы с диаметром в 1 м, а также горной выработке квадратной формы с длиной сторон равной 1 м. Максимальное значение коэффициента аэродинамического сопротивления трения можно выбрать из Справочника рудничной вентиляции (под ред. К.З. Ушакова, 1987) ($\alpha = 0,13$ кгс·с²/м⁴). Минимальная скорость движения воздуха обусловлена требованиями Федеральных норм и правил и равна $v = 0,1$ м/с (для угольных шахт). Тогда

$$L_{изм} = 0,1 \cdot 1 / 4 \cdot 0,13 \cdot 0,1^2 = 19 \text{ м.}$$

Этот расчет используется в качестве некоторого критерия ($L_{изм} = 19$ м), по которому можно определить, что относится к аэродинамическому сопротивлению трения, а что – к местному аэродинамическому сопротивлению.

Помимо относящихся к аэродинамическому сопротивлению трения крепи, конвейера и трапа, к данному виду аэродинамического сопротивления можно отнести:

– рудничные стойки, если их установлено несколько подряд на участке длиной более 19 м;

– стационарное оборудование с общей длиной более 19 м.

Для вышеуказанных случаев возможно провести измерения перепада давления и определить коэффициент аэродинамического сопротивления трения такого участка. Данные участки при проектировании вентиляции будут рассматриваться как отдельные ветви.

Всё, что расположено на участке горных выработок протяженностью менее 19 м, будет относиться к местным аэродинамическим сопротивлениям. В проектировании такие участки будут учитываться как дополнительное сопротивление (по аналогии с местными аэродинамическими сопротивлениями вентиляционных окон или дверей).

Отдельно к местным аэродинамическим сопротивлениям относятся проходческие комбайны. Являясь СГО, они расположены всегда в определенном месте – в призабойной части горной выработки. Воздушная струя их омывает по касательной, не ударяясь в «лоб». При этом данный вид аэродинамического сопротивления не оказывает существенного влияния на общешахтное сопротивление и распределение воздушных потоков по вентиляционной сети.

К лобовым аэродинамическим сопротивлениям будут относиться только движущиеся объекты, так, как это понимается в других науках, где изучается аэродинамика движущихся тел (машин, самолетов, ракет, поездов и т.д.).

В классификации аэродинамических сопротивлений в рудничной аэробиологии к лобовому аэродинамическому сопротивлению будем относить СГО, клеть / скип и людей.

Таблица 1
Классификация аэродинамических сопротивлений

Table 1
Classification of aerodynamic resistances

Аэродинамическое сопротивление трения, R_{tr} , кг	Шероховатость бортов, кровли и почвы горных выработок	$R_{tr} = \alpha \cdot P \cdot L / S^3$ <p>P – периметр горной выработки, м; S – площадь сечения горной выработки, м^2; L – длина горной выработки, м; α – коэффициент аэродинамического сопротивления трения, $\text{kгс} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$.</p>	$h_{ct} = R_{tr} \cdot Q^3$	
	Равномерно распределенная крепь на участке длиной $l \geq 19$ м			
	Конвейерная лента			
	Трап, ж/д пути			
	Стационарное горное оборудование, энергопоезд, трансформаторы, склад материалов при $l \geq 19$ м			
Аэродинамическое местное сопротивление, R_m , кг	Рудничные стойки / растреллы на участке $l \geq 19$ м	$R_m = \xi \cdot \gamma / 2 \cdot g \cdot S^2$ <p>γ – удельный вес воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$, при нормальных условиях $\gamma = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$; g – ускорение силы тяжести, $\text{м}/\text{с}^2$, при нормальных условиях $g = 9,807 \text{ м}/\text{с}^2$; S – площадь сечения горной выработки за местным сопротивлением, м^2; ξ – коэффициент аэродинамического сопротивления трения, безразмерная величина.</p>	$h_m = \xi \cdot \gamma \cdot v^2 / 2 \cdot g$	
	Поворот горной выработки			
	Расширение / сужение горной выработки			
	Соединение / разделение горных выработок			
	Вентиляционная дверь (окно), парус			
	Кросинг			
	Проходческий комбайн			
	Рудничные стойки на участке $l < 19$ м			
	Стационарное горное оборудование, трансформаторы, склад материалов при $l < 19$ м			
Аэродинамическое лобовое сопротивление, R_l , кг	Движущееся горное оборудование	Протяженное СГО ширина ~ высота << длина (электровоз, монорельс и т.п.)	$R_l = c \cdot S_m \cdot \gamma / 2 \cdot g \cdot (S - S_m)^3$ <p>γ – удельный вес воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$, при нормальных условиях $\gamma = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$; g – ускорение силы тяжести, $\text{м}/\text{с}^2$, при нормальных условиях $g = 9,807 \text{ м}/\text{с}^2$; S – площадь сечения горной выработки в месте расположения объекта, м^2; S_m – среднее сечение, наибольшее сечение тела в плоскости перпендикулярной потоку, м^2; c – коэффициент лобового сопротивления трения, безразмерная величина.</p>	$h_l = c \cdot S_m \cdot \gamma \cdot v^2 / 2 \cdot g \cdot (S - S_m)$
		СГО ширина ~ высота ~ длина (ПДМ, ШАС, буровая установка и т.п.)		
		Клеть/скип		
		Комбайн очистной		
		Группа людей		
	Человек	Один человек		

При этом с учетом влияния конструкции горного оборудования на аэродинамическое сопротивление трения о поверхность СГО можно разделить на два подвида:

- 1) СГО, у которого длина, высота и ширина сопоставимы (например, ПДМ, ШАС, буровые установки и т.п.);
- 2) СГО, у которого большая протяженность (электровозы и монорельсовый транспорт).

Данные предложения по классификации аэродинамических сопротивлений представлены в табл. 1.

Заключение

Одной из проблем в области обеспечения безопасности и эффективности ведения горных работ является плохо организованное проветривание.

Аварии и инциденты происходят из-за недостаточной проработанности проектов по проветриванию горных предприятий, а также нарушений требований нормативных документов. В настоящее время отсутствуют нормативные документы по проектированию вентиляции горных предприятий. Ранее действующие документы по расчёту проветривания также не учитывают ряд факторов, например, лобовые аэродинамические сопротивления. Как показал анализ научных работ, данный вид аэродинамического сопротивления недостаточно изучен.

При этом к лобовым аэродинамическим сопротивлениям в рудничной аэрологии относят, как правило, не только движущуюся горную технику (обычно указывают только вагонетки, ПДМ, ШАС, буровые машины и т.п.), а добавляют растрелы и рудничные стойки. В аэродинамике в других областях науки указывается, что лобовое аэродинамическое сопротивление возникает только у движущихся объектов (машины, самолеты, ракеты и т.д.).

В зарубежной литературе в области аэрологии горных предприятий нет понятия лобового аэродинамического сопротивления. Там их относят к местным аэродинамическим сопротивлениям.

Для всех дальнейших исследований предлагается разработанная классификация аэродинамических сопротивлений, в которой устранены все противоречия.

В основе предлагаемой классификации лежит сформированное и устоявшееся в России научное мнение о существовании трех видов аэродинамических сопротивлений (трение, местные и лобовые аэродинамические сопротивления). Уточнение классификации выполнено только в части того, что относить к каждому из трех видов сопротивлений.

Список литературы / References

1. Carlos S. *Mine Ventilation: A concise guide for students*. Springer Cham; 2020. 371 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-49803-0>
2. Pramod T. *Advanced mine ventilation: Respirable coal dust, combustible gas and mine fire control*. Woodhead Publishing; 2018. 528 p.

3. Газизуллин Р.Р., Левин Л.Ю., Зайцев А.В. Влияние местных сопротивлений на воздухораспределение в рудниках при реверсивном режиме работы главной вентиляторной установки. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2012;(5):227–230.
Gazizullin R.R., Levin L.Yu., Zaitsev A.V. Influence of local resistances on air distribution in mines with reversible operation of the main fan system. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2012;(5):227–230. (In Russ.)
4. Казаков Б.П., Шалимов А.В., Стукалов В.А. Моделирование аэродинамических сопротивлений сопряжений горных выработок. *Горный журнал*. 2009;(12):56–58. Режим доступа: <https://www.rudmet.ru/journal/562/article/6341/> (дата обращения: 09.03.2025).
Kazakov B.P., Shalimov A.V., Stukalov V.A. Simulation of aerodynamic drag of interfaces of mines. *Gornyi Zhurnal*. 2009;(12):56–58. (In Russ.) Available at: <https://www.rudmet.ru/journal/562/article/6341/> (accessed: 09.03.2025).
5. Левин Л.Ю., Семин М.А., Газизуллин Р.Р. Разработка метода расчета местных аэродинамических сопротивлений при решении сетевых задач воздухораспределения. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2014;(9):200–205. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2014/09/31_200-205_Levin.pdf (дата обращения: 09.03.2025).
Levin L.Yu., Semin M.A., Gazizullin R.R. Development of local resistance determinaton method for mine ventilation networks. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2014;(9):200–205. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2014/09/31_200-205_Levin.pdf (accessed: 09.03.2025).
6. Левин Л.Ю., Семин М.А., Зайцев А.В. Определение перепада давления на сопряжении вентиляционного ствола и канала ГВУ. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(S7):93–104.
Levin L.Yu., Semin M.A., Zaytsev A.V. Determination of upcast shaft and fan drift junction pressure drop. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2015;(S7):93–104. (In Russ.)
7. Левин Л.Ю., Мальцев С.В., Семин М.А., Колесов Е.В. Расчет аэродинамического сопротивления проектируемых шахтных стволов с использованием методов вычислительной гидродинамики. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2025;(5):100–117. Режим доступа: <https://giab-online.ru/catalog/raschet-aerodinamicheskogo-soprotivleniya-proektiruemyh-shahtnyh> (дата обращения: 09.03.2025).
Levin L.Y., Maltsev S.V., Semin M.A., Kolesov E.V. Aerodynamic drag design for project mine shafts using methods of computational fluid dynamics. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2025;(5):100–117. (In Russ.) Available at: <https://giab-online.ru/catalog/raschet-aerodinamicheskogo-soprotivleniya-proektiruemyh-shahtnyh> (accessed: 09.03.2025).
8. Кобылкин С.С., Каледин О.С., Дядин С.А., Кобылкин А.С. Оценка влияния местных сопротивлений на общее аэродинамическое сопротивление воздуховодов. В кн.: *Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование: материалы Междунар. науч.-практ. конф.*, г. Санкт-Петербург, 28–29 окт. 2015 г. СПб.: Санкт-Петербургский горный университет; 2015. С. 91–92.
9. Кобылкин С.С., Ушаков В.К., Кузнецов И.И. Анализ влияния местных сопротивлений горных выработок на общешахтное аэродинамическое сопротивление. *Горная промышленность*. 2024;(2):93–96. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-2-93-96>
Kobylkin S.S., Ushakov V.K., Kuznetsov I.I. Analysis of the impact of local resistance of mine workings on the total mine airflow resistance. *Russian Mining Industry*. 2024;(2):93–96. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-2-93-96>
10. Кузнецов И.И. Оценка влияния местных сопротивлений на общешахтное аэродинамическое сопротивление при реверсе. *Безопасность жизнедеятельности*. 2024;(5):49–56.
Kuznetsov I.I. Assessment of the influence of local resistance s on the overall aerodynamic drag during reverse. *Bezopasnost Zhiznedejatelnosti*. 2024;(5):49–56.

Информация об авторах

Кобылкин Сергей Сергеевич – доктор технических наук, профессор, кафедра безопасности и экологии горного производства Горного института, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-2626-208X>; e-mail: kobylkin.s@misis.ru

Федоров Денис Анатольевич – аспирант кафедры безопасности и экологии горного производства Горного института, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация

Кузнецов Иван Ильич – горный инженер, аспирант кафедры безопасности и экологии горного производства Горного института, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва Российская Федерация

Information about the authors

Sergey S. Kobylkin – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Mine Safety and Environment, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-2626-208X>; e-mail: kobylkin.s@misis.ru

Denis A. Fedorov – Postgraduate Student, Department of Mine Safety and Environment, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation

Ivan I. Kuznetsov – Mining Engineer, Postgraduate Student, Department of Mine Safety and Environment, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation

Article info

Received: 17.05.2025

Revised: 10.06.2025

Accepted: 18.06.2025

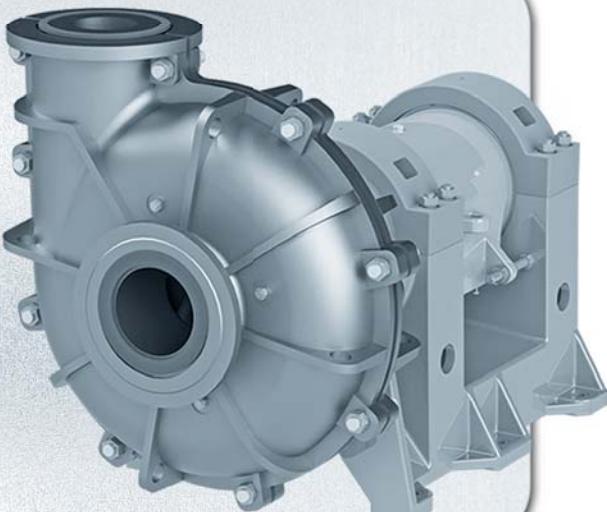
Информация о статье

Поступила в редакцию: 17.05.2025

Поступила после рецензирования: 10.06.2025

Принята к публикации: 18.06.2025

НАСОСЫ И КОМПРЕССОРЫ для горнодобывающей промышленности и металлургии



НАСОСЫ

- Грунтовые насосы **HDP** с подачей до 8 000 м³/ч для экстремальных условий эксплуатации
- Насосы двустороннего входа **DeLiум** с подачей до 10 000 м³/ч
- Многоступенчатые насосы **GP** с подачей до 600 м³/ч для водоотливных установок
- Вакуумные водокольцевые насосы **ВВН** с подачей до 60 м³/мин

КОМПРЕССОРЫ

- Центробежные компрессоры производительностью до 220 000 нм³/ч
- Многовальные компрессорные установки производительностью до 80 000 нм³/ч
- Винтовые компрессоры производительностью до 18 000 нм³/ч

УСЛУГИ

- Модернизация объектов водоснабжения и водоотведения
- Комплектация технологическим оборудованием

АО «ГИДРОМАШСЕРВИС» –
объединённая торговая компания Группы ГМС
Россия, 125252, Москва,
ул. Авиаконструктора Микояна, 12

Тел.: +7 (495) 664 81 71

www.hms.ru

РОССИЙСКИЕ ГРУНТОВЫЕ НАСОСЫ ДЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

ПРЕИМУЩЕСТВА

- Новая конструкция корпуса
- Усиленные подшипники
- Оптимизированная проточная часть
- Герметичный внутренний корпус
- Износостойкие материалы
- Взаимозаменяемость с насосами ГрАТ

ХАРАКТЕРИСТИКИ

- Производительность: до 8 000 м³/ч
- Напор: до 100 м
- Мощность привода: до 3 200 кВт
- Размер перекачиваемых частиц: до 200 мм

Предприятия-изготовители:

АО «ГМС Ливгидромаш»

ОАО «Бобруйский машиностроительный завод»

АО «ГИДРОМАШСЕРВИС» —
объединённая торговая компания Группы ГМС
Россия, 125252, Москва,
ул. Авиаконструктора Микояна, 12
Тел.: +7 (495) 664 81 71

Методологические аспекты проектирования горнотехнических систем с учетом многофункциональности и развития цифровых платформ

О.Ю. Козлова¹✉, В.В. Агафонов², А.С. Оганесян²

¹ МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Российская Федерация

² Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация

✉ kozlova_ou@mail.ru

Резюме: В статье актуализируются стратегические направления в области развития горнодобывающих и перерабатывающих производств, на которых предусматривается использование комплекса экологически чистых угольных технологий и инновационных цифровых технологических платформ. В горнодобывающем секторе экономики превалирующая роль инноваций остается весьма незначительной и направлена в основном на поддержание жизнеспособного и конкурентоспособного уровня операционной рентабельности. Это связано с отдельными негативными составляющими использования устаревших технологий осуществления проектной деятельности. Актуальным является вопрос развития, трансформации и адаптации методологии проектирования высокопроизводительных и высокорентабельных угледобывающих предприятий в сложившихся макроэкономических условиях. В статье рассматриваются отдельные методологические аспекты проектирования инновационных угольных производств-кластеров с полным циклом комплексного освоения угольных месторождений. Одним из актуальных аспектов теории проектирования освоения недр является разработка методик расчета производственной мощности многофункциональных шахтосистем, определения рациональной интенсивности освоения месторождения, рациональных схем и способов управления качеством основных и вспомогательных потоков добычи и переработки продукции на угольной основе, обоснования продуктивных альтернативных нетрадиционных источников повышения технико-экономической эффективности угледобывающих предприятий, которые наряду с основными угольными потоками являются основой, пред назначенной для получения необходимого объема товарной продукции. Одной из основополагающих составляющих повышения технико-экономической эффективности угледобывающих производств являются цифровые технологические платформы.

Ключевые слова: горнотехническая система, угольная шахта, многофункциональная шахтосистема, цифровизация, комплексное освоение георесурсов, цифровые технологии, цифровые платформы

Для цитирования: Козлова О.Ю., Агафонов В.В., Оганесян А.С. Методологические аспекты проектирования горнотехнических систем с учетом многофункциональности и развития цифровых платформ. *Горная промышленность*. 2025;(4):97–102. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-97-102>

Methodological aspects of designing mining engineering systems with account of the versatility and development of digital platforms

O.Y. Kozlova¹✉, V.V. Agafonov², A.S. Oganesyan²

¹ MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russian Federation

² National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation

✉ kozlova_ou@mail.ru

Abstract: The paper reviews strategic trends in mining and processing industries with account of the ongoing globalization processes in the world markets for end products, as well as the sanctioned components and increased technological competition. During the current period of subsurface use, these trends should ensure application of complex environmentally friendly coal technologies and innovative digital technology platforms linked to the concept of sustainable development. Despite the presence of a number of positive developments in the mining sector, the predominant role of innovations in the stated form remains very small and they are mainly aimed at maintaining a viable and competitive level of the operating margin. All of this is definitely related to certain negative aspects of using outdated technologies in the project activities. A topical issue is the development,

transformation and adaptation of the design methodology of high-performance and highly profitable coal mining operations in the current macroeconomic conditions. The article discusses certain methodological aspects of designing innovative coal production clusters with a complete cycle of integrated development of coal deposits. It is stated that one of the relevant aspects in the theory of designing subsurface development as a fundamental branch of mining sciences is the development of methods for calculating the production capacity of multifunctional mining systems, determining the rational intensity of field development, rational schemes and methods of quality management of the main and auxiliary streams of coal-based production and processing, justification of the productive alternative non-traditional sources to enhance the technical and economic efficiency of coal mining enterprises, which, along with the main coal streams, are the basis for obtaining the necessary volume of marketable products. Digital technology platforms are claimed to be one of the fundamental components of improving the technical and economic efficiency of coal mining operations.

Keywords: mining engineering system, coal mine, multifunctional mining system, digitalization, integrated development of geo-resources, digital technologies, digital platforms

For citation: Kozlova O.Y., Agafonov V.V., Oganesyan A.S. Methodological aspects of designing mining engineering systems with account of the versatility and development of digital platforms. *Russian Mining Industry*. 2025;(4):97–102. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-97-102>

Введение

В современных условиях функционирования угольной отрасли, которые характеризуются активным трансфертом высокопроизводительных угледобывающих технологий и горнодобывающей техники, резко возросла роль повышения качества технологической подготовки горного производства, что напрямую связано с аспектами развития, трансформации и адаптации методологии проектирования высокопроизводительных и высокорентабельных угледобывающих предприятий. Данная постановка диктует необходимость проектирования угольных производств на основе принципа многофункциональности с привлечением экологически чистых угольных технологий [1–4].

Следует отметить, что необходимость проектирования инновационных угольных производств-кластеров и, естественно, создания методологии их проектирования диктуется как исчерпанными возможностями логистики, ограничениями финансовых инвестиций, так и возросшими требованиями в экологической и социально-экономической сферах и области промышленной безопасности.

В связи с этим актуальной задачей является создание теоретической базы проектирования многофункциональных шахтосистем с полным циклом комплексного освоения угольных месторождений. Для этого полный цикл комплексного освоения недр должен включать не только добычу и обогащение угля, но и попутное извлечение и глубокую переработку газа метана с обязательной утилизацией всех отходов производства в выработанном пространстве. В этой сфере задействуются технологии когенерации и тригенерации, термококс и др. Это позволяет обеспечить рационализацию природопользования и получить эколого-экономический эффект.

Результаты

Установлено, что шахтосистемы с полным циклом добычи и переработки характеризуются особыми качественно-количественными параметрами, установление которых требует обоснования соответствующей функциональной структуры, ее производственной мощности, условий реализации специфических технологических процессов для достижения большего синергетического эффекта.

Так как наиболее значимым количественным параметром многофункциональной шахтосистемы является производственная мощность, то одним из актуальных аспектов задачи теории проектирования освоения недр

как основополагающего раздела горных наук является создание методик расчета производственной мощности многофункциональных шахтосистем при комплексном освоении угольных месторождений.

Далее для обеспечения соответствующей эффективности использования дополнительных нетрадиционных структурно-технологических решений, обеспечивающих вовлечение технологий когенерации, тригенерации, термококс и др., требуется определение условий их реализации во взаимосвязи с основными процессами угольного производства. Для установления закономерностей взаимодействия технологических процессов в части их интенсивности и взаимосвязи требуется разработка математического аппарата и выполнение экономико-математического моделирования для различных типов многофункциональных шахтосистем. В рамках этого блока исследований требуется обоснование интегрального показателя интенсивности, подходящего для всех технологических процессов (способы расчета различных показателей интенсивности). В этой связи в дальнейшем должна быть обоснована оптимальная по экономическим критериям система управления интенсивностью добычи и переработки продукции на угольной основе. При этом полученные закономерности ложатся в основу методики определения рациональной интенсивности освоения месторождения, а следовательно, и производственной мощности многофункциональной шахтосистемы как по добыче, так и по переработке угля. Компенсация мощностей за счет альтернативных источников весьма важна в период сложной макроэкономической обстановки и возникновения на угледобывающих предприятиях ситуаций, связанных с неопределенностью горно-геологического и горнотехнического характера при одновременном требовании увеличения производственной мощности.

В основу методики определения рациональных условий формирования основных и вспомогательных потоков продукции на угольной основе положена классификация, позволяющая определить направления их использования на различных этапах освоения угольных месторождений. На основе проведенных исследований выявлены источники формирования и локализации основных направлений перспективного использования этих потоков, формирующихся в ходе использования различных геотехнологий для добычи и переработки продукции на угольной основе. В ходе реализации методики получены зависимости

качественно-количественных показателей основных и вспомогательных потоков продукции на угольной основе от основных влияющих факторов – сроков освоения месторождения, применяемых технологий добычи и переработки продукции на угольной основе. Данные зависимости положены в основу обоснования рациональных схем и способов управления качеством основных и вспомогательных потоков добычи и переработки продукции на угольной основе в полном цикле комплексного освоения угольных месторождений. Доказано, что при освоении угольных месторождений возможна реализация полного цикла комплексного освоения запасов угля и сопутствующих нетрадиционных источников полезных компонентов при сочетании различных геотехнологий. Обоснованы продуктивные альтернативные нетрадиционные источники повышения технико-экономической эффективности угледобывающих предприятий, которые наряду с основными угольными потоками являются основой, пред назначенной для получения необходимого объема товарной продукции.

Проектирование и реализация полного цикла комплексного освоения угольных месторождений невозможны без установления закономерностей процесса закладки выработанного пространства в его взаимосвязи с процессами добычи и переработки продукции на угольной основе. В этой связи требуются специальные исследования, направленные на выявление своевременности закладки вслед за фронтом перемещения горных работ в пределах шахтного поля, исключающие возникновение диспропорций в этой сфере и временное размещение хранилищ отходов на поверхности. В этой связи не менее актуальной задачей является установление закономерностей для эффективного использования технологического подземного пространства и размещения отходов производства различного назначения, причем каждый условный объем сформированного в

недрах оперативного и стратегического технологического подземного пространства должен учитываться и эффективно использоваться в различных функциональных назначениях, а условия формирования и направления использования должны определяться на стадии проектирования разработки участка недр. В этом аспекте должны быть проведены систематизация принятых в мировой горной практике методов и подходов к использованию технологического подземного пространства и оценка фундаментальных закономерностей, которые являлись основой для их создания.

Не менее значимой составляющей повышения технико-экономической эффективности угледобывающих производств являются цифровые технологические платформы [5–8].

На рис. 1 представлена рейтинговая оценка тенденций развития мировых цифровых технологических платформ более чем в 60 странах. В ее основу заложены исследования корпорации Digital Evolution Index с использованием 170 оценочных показателей-индикаторов различной направленности. По результатам оценки все страны разделились на четыре ранжированных кластера: 1-й – лидирующий, 2-й – замедляющийся, 3-й – перспективный и 4-й – проблемный. Россия представлена третьим кластером.

В рамках этих исследований отмечается, что внедрение цифровых технологий в производственные процессы и операции открывает возможность экспоненциального роста их эффективности (рис. 2). В отчете консалтингового агентства McKinsey в области цифровизации применительно к российскому промышленному сектору указывается прирост объема ВВП на сумму от 1,3 до 4,1 трлн руб. в год.

В рамках горнодобывающей и горноперерабатывающей отраслей в современных условиях недропользования наиболее рациональным представляется формирование индустриальных цифровых платформ в областях



Рис. 1
Рейтингование стран по развитию и внедрению элементов цифровой экономики
Составлен по данным отчета Digital Evolution Index

Fig. 1
Ranking of countries in terms of the development and implementation of the digital economy elements
Compiled based on the data from the Digital Evolution Index report

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Digital technologies

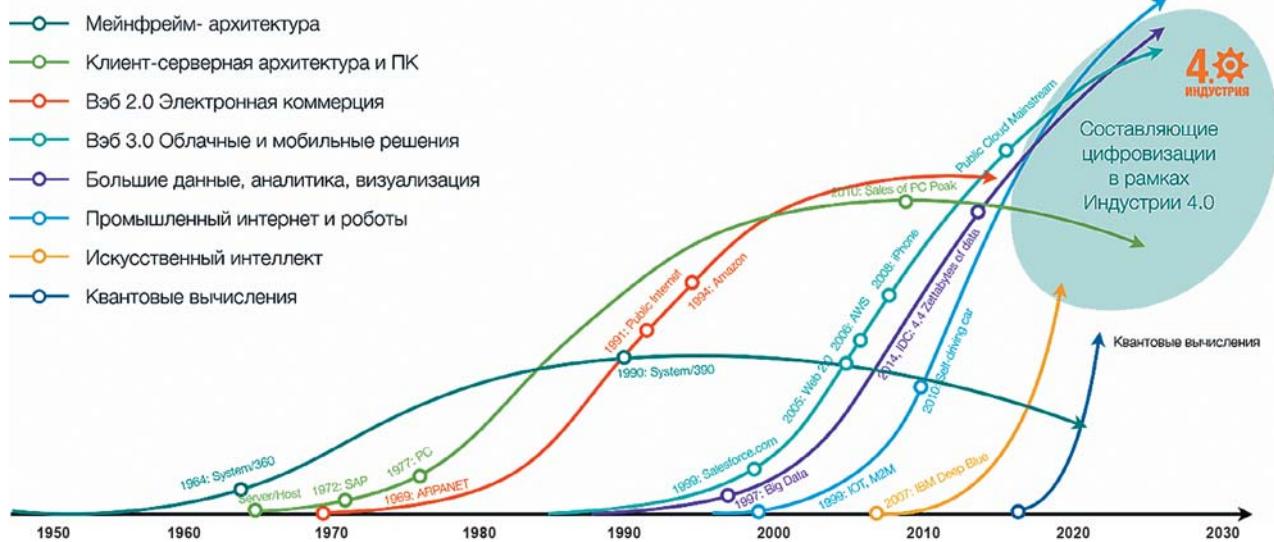


Рис. 2
Основные составляющие повышения технико-экономической эффективности производства и повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции в рамках использования цифровых платформ

Составлен по данным отчета консалтингового агентства McKinsey

транспорта-подъема, вентиляции, ведения очистных и подготовительных работ, водоотлива, дегазации, энергетики, обработки данных, телекоммуникаций и др. В их границах формируется инфраструктурный базис для реализации сопутствующих технологий угледобычи с учетом многофункциональности и развития цифровых парадигм. Основные индустриальные цифровые платформы, которые могут быть задействованы в настоящее время в рамках стейкхолдерского подхода цифровой экосистемы с API

Fig. 2
The main components of enhancing the technical and economic efficiency of production and increasing the competitiveness of products using digital platforms
Compiled based on the data from the McKinsey consulting agency report

(Application Programming Interface) применительно к цифровому угледобывающему предприятию, представлены на рис. 3. Цифровые технологии в рамках организационных преобразований данной концептуальной постановки представлены на рис. 4. Основные элементы информационного обеспечения заявленной проектной стратегии представлены на рис. 5.

Основными критериями эффективности многофункциональных шахтосистем с полным циклом являются

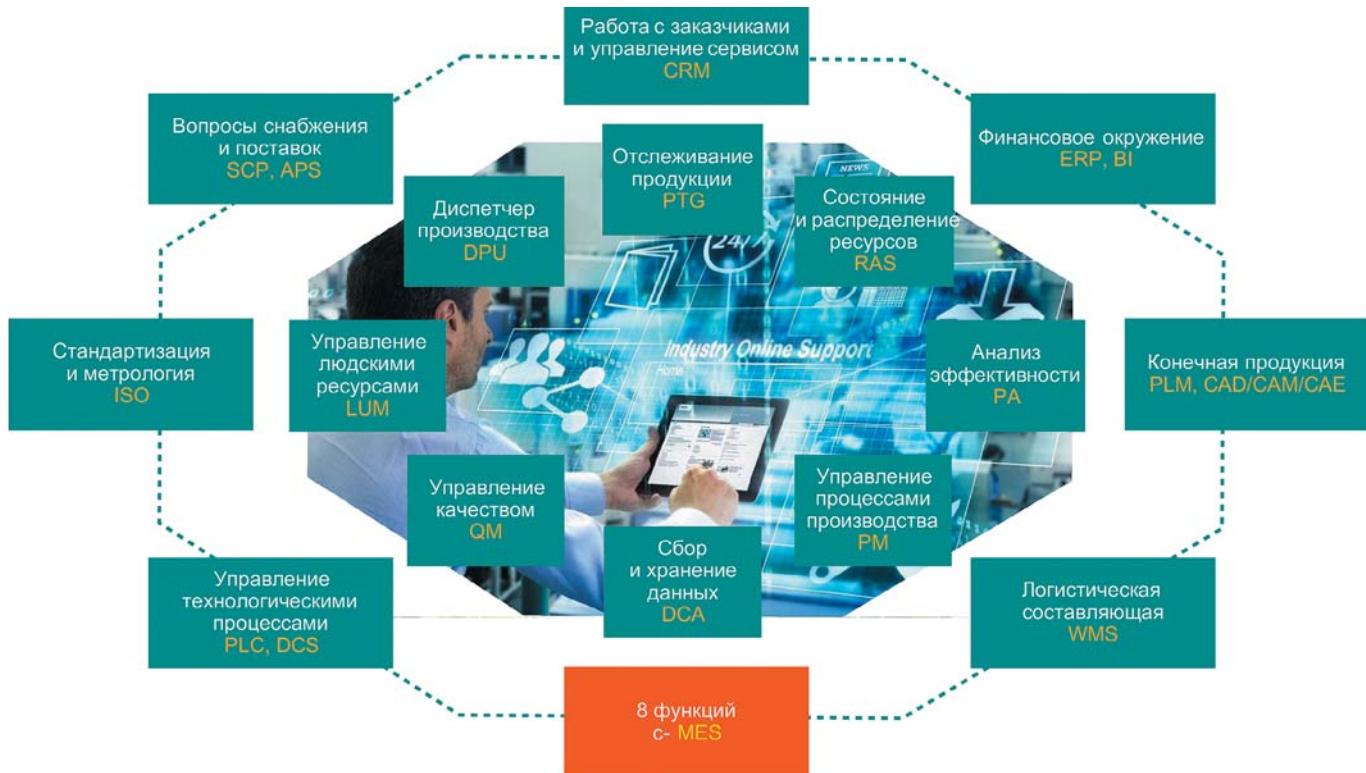


Рис. 3
Индустриальные цифровые платформы

Fig. 3
Industrial digital platforms



Рис. 4
Необходимые цифровые технологии в рамках цифрового угледобывающего предприятия

Fig.4
Digital technologies required within the framework of a digital coal mining enterprise



Рис. 5
Укрупненное информационное обеспечение цифровых платформ

Fig. 5
Integrated information support for digital platforms

ся комплексность использования георесурсов, экономические результаты и безопасность. Для развития теоретической базы проектирования многофункциональных шахтосистем на основе полного цикла необходимо решение таких задач, как:

- прогноз и обоснование на стадии проектирования возможностей комплексного освоения различных видов георесурсов на осваиваемом участке недр;
- определение видов применяемых геотехнологий и их сочетаний в конкретный период эксплуатации и функционирования многофункциональной шахтосистемы;
- управление объемами и качеством основных и вспомогательных потоков на угольной основе, формирующих ся на различных участках угольного производства;
- обеспечение в заданный период времени необходимого объема товарной продукции, получаемой в основном и вспомогательном производстве угольной продукции;
- обеспечение замкнутого цикла производства путем

обязательной утилизации отходов производства в выработанном пространстве;

– оптимизация проектных решений, дающих максимальные технико-экономический, эколого-экономический и социальный эффекты.

Заключение

Таким образом, развитие теоретической базы проектирования горнотехнических систем с учетом многофункциональности и развития цифровых платформ должно отвечать современным научным и технологическим тенденциям. Проведение фундаментальных и прикладных исследований по актуальным направлениям позволит обеспечить улучшение состояния окружающей среды, снизить риск техногенных катастроф, расширить экономически доступную природно-ресурсную базу, внедрить в практику бережное использование минерального сырья и рационализацию природопользования.

Список литературы / References

1. Якупчиков Е.Н., Агафонов В.В. Оптимизация функциональных структур угольных кластеров (многофункциональных шахтосистем). Уголь. 2018;(9):64–69. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-9-64-69>
Iakunchikov E.N., Agafonov V.V. Optimization of coal clusters functional structures (multifunctional mine systems). *Ugol'*. 2018;(9):64–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-9-64-69>

2. Малкин А.С., Агафонов В.В. Предпосылки создания методологии концептуального проектирования многофункциональных шахтосистем. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2013;(6):32–37.
Malkin A.S., Agafonov V.V. Background of the conceptual design methodology for multi-function mine systems. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2013;(6):32–37. (In Russ.)
3. Харитонов В.Г., Ремезов А.В., Новоселов С.В. Предпосылки генезиса инновационных проектов горнотехнических систем типа: SDS, RTS, MFMS. *Уголь*. 2011;(10):48–52.
Kharitonov V.G., Remezov A.V., Novoselov S.V. Prerequisites for the genesis of innovative projects of mining engineering systems such as: SDS, RTS, MFMS. *Ugol'*. 2011;(10):48–52. (In Russ.)
4. Харитонов В.Г., Ремезов А.В., Новоселов С.В. Обоснование основных параметров функционирования шахтосистем типа: SDS, RTS, MFMS на различных этапах жизненного цикла развития отрасли. *Уголь*. 2011;(7):41–42.
Kharitonov V.G., Remezov A.V., Novoselov S.V. Substantiation of the main parameters of the functioning of mining systems such as SDS, RTS, MFMS at various stages of the life cycle of the industry. *Ugol'*. 2011;(7):41–42. (In Russ.)
5. Плакиткин Ю.А., Плакиткина Л.С. Цифровизация экономики угольной промышленности России – от «Индустрии 4.0» до «Общества 5.0». *Горная промышленность*. 2018;(4):22–30.
Plakitkin Yu.A., Plakitkina L.S. Digitization of the Russian coal sector economy – from Industry 4.0 to Society 5.0. *Russian Mining Industry*. 2018;(4):22–30. (In Russ.)
6. Жданеев О.В., Власова И.М. Вызовы и приоритеты цифровой трансформации угольной отрасли. *Уголь*. 2023;(1):62–69. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-1-62-69>
Zhdaneev O.V., Vlasova I.M. Digital transformation of the coal industry. *Ugol'*. 2023;(1):62–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-1-62-69>
7. Ксенофонтов А.А., Иванов М.А. Повышение конкурентных преимуществ предприятий угледобывающей отрасли в условиях цифровизации экономики. *Инновации и инвестиции*. 2019;(6):328–334.
Ksenofontov A.A., Ivanov M.A. Increasing competitive advantages of coal mining enterprises in the context of the economy digitalization. *Innovation & Investment*. 2019;(6):328–334. (In Russ.)
8. Власюк Л.И., Сиземов Д.Н., Дмитриева О.В. Стратегические приоритеты цифровой трансформации угольной отрасли Кузбасса. *Экономика промышленности*. 2020;13(3):328–338. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2020-3-328-338>
Vlasyuk L.I., Sizemov D.N., Dmitrieva O.V. Strategic priorities of digital transformation of coal industry of Kuzbass. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2020;13(3):328–338. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2020-3-328-338>

Информация об авторах

Козлова Ольга Юрьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры высшей математики – 3, МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: kozlova_ou@mail.ru

Агафонов Валерий Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры геотехнологии освоения недр горного института, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: agafonovvv@yandex.ru

Оганесян Армине Сейрановна – доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: oganesyan.as@misis.ru

Information about the authors

Olga Yu. Kozlova – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Higher Mathematics – 3, a MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russian Federation; e-mail: kozlova_ou@mail.ru

Valery V. Agafonov – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Geotechnology of Subsurface Development at the Mining Institute, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation; e-mail: agafonovvv@yandex.ru

Armine S. Oganesyan – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Mining Institute, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation; e-mail: oganesyan.as@misis.ru

Article info

Received: 13.05.2025

Revised: 10.06.2025

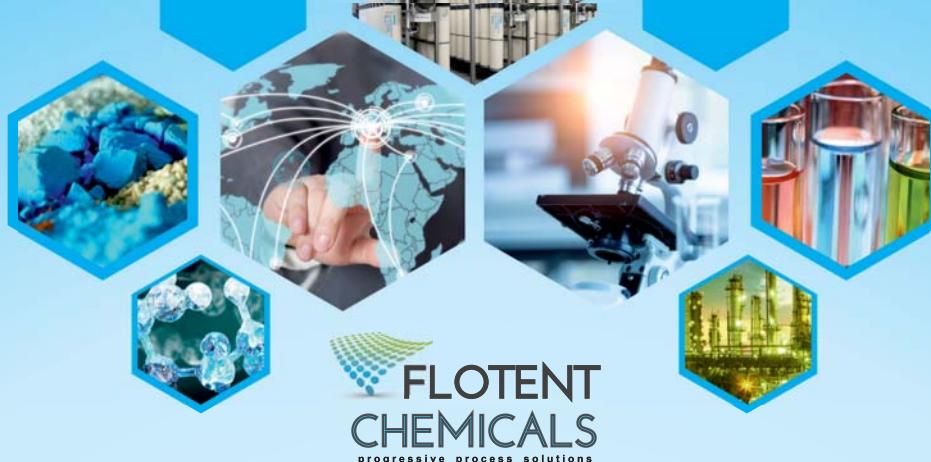
Accepted: 16.06.2025

Информация о статье

Поступила в редакцию: 13.05.2025

Поступила после рецензирования: 10.06.2025

Принята к публикации: 16.06.2025



**FLOTENT
CHEMICALS**
progressive process solutions

Международная компания Flotent Chemicals является одним из ведущих производителей различной химической продукции для горнодобывающей промышленности.

- **Ксантогенаты** (8 марок) серии Flotent производятся «Flotent Chemicals» высшего и «Flotent Chemical Shanghai Co,Ltd» первого сорта:
- **Собиратель Flotent PAX** - Собиратель Flotent PBX - Собиратель Flotent PEX - Собиратель Flotent PIBX- Собиратель Flotent SIPX- Собиратель Flotent SIBX- Собиратель Flotent PIAX - Собиратель Flotent SBX
- **Флотореагенты-Дитиофосфаты** (9 марок) серии Flotent производятся ООО «Флотент Кемикалс Рус»: Flotent DSB - Flotent DSIB - Flotent DSIB - Flotent DAIB - Flotent DAB - Flotent DKIB - Flotent DSIP- Flotent DSIO - Flotent DAIO - Flotent DAIB Powder - Flotent DSK .
- **Дитиокарбаматы** (5 марок) - серии Flotent производятся «Flotent Chemical Shanghai Co,Ltd»: Flotent DCD2EG - Flotent DCDB - Flotent DCDM - Flotent DCDE- Flotent DCP .
- **Тионокарбаматы** (2 марки)- серии Flotent производятся «Flotent Chemical Shanghai Co,Ltd»: Flotent IDMTC - Flotent EITC.
- **Гидроксаматы**- ООО «Флотент Кемикалс Рус» ведет разработку несколько модификаций
- **Собиратель Flotent MBT 40** (новый наш реагент) Является эффективным собирателем свободного тонкого. золота и сульфидов с измененной поверхностью.

Вспениватели (2 марки) серии Flotent производятся ООО «Флотент Кемикалс Рус»:

- Flotent VS-1M - Flotent VS-1PO

Депрессоры пустой породы (2 марки) серии Flotent производятся ООО «Флотент Кемикалс Рус»:

- Flotent DP64FR- Flotent DP63FR

Депрессоры углерода (5 марок) серии Flotent производятся ООО «Флотент Кемикалс Рус»:

- Flotent FD-4, Flotent FD-5, Flotent FD-6, Flotent FN-3, Flotent FN-4

Депрессоры талька производится ООО «Флотент Кемикалс Рус»:

- Flotent DT-1

Депрессоры пирита производится ООО «Флотент Кемикалс Рус»:

- Flotent AGMA (Новейший продукт)

Сульфидизаторы (2 марки) серии Flotent производятся ООО «Флотент Кемикалс Рус»:

- Flotent DP37FR (в виде раствора)- Flotent DP39FR (в виде раствора)

Сульфидизаторы (2 марки) серии Flotent производятся «Flotent Chemical Shanghai Co,Ltd»:

- Flotent DP 17 F(Гидросульфид натрия)- Flotent DP18F (Сульфид натрия)

Флокулянты: серии FlotFloc и POLYPAM (нейоногенные, анионные, катионные)

СЕРИИ РЕАГЕНТОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ:

- Реагент собиратель Flotent GL3G (экологически чистый аналог цианиду натрия)
- Реагент собиратель Flotent TIO1R и Flotent TIO2R
- Реагент собиратель Flotent HAL3(в основном для кучного выщелачивания) относятся к галогенорганическим реагентам выщелачивания.
- Реагент собиратель Flotent TC-3 и TC-4 (в основном для кучного выщелачивания) относятся к кислотным реагентам (Работают при pH=2-3).

ООО «ФЛОТЕНТ КЕМИКАЛС РУС»

443080, Россия, Самарская обл., г. Самара, ул. Революционная, д. 70, пом. 227

Тел.: +8 (846) 277-17-55 / Моб.: +7 (927) 207-17-55
E-mail: aqwasama@mail.ru, am@flotent.ru, or@flotent.ru
Сайт: www.flotent.com, www.флотент.рф

Цифровая трансформация в горнодобывающем секторе России: особенности и стратегические подходы

М.Ю. Сулимов^{1, 2}✉

¹ Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация

² ООО «ГИНТЕЛЛ», г. Москва, Российская Федерация

✉ m2301974@edu.misis.ru

Резюме: Статья посвящена анализу процессов цифровой трансформации в условиях современных экономических и геополитических вызовов. В работе рассматриваются специфические особенности горнодобывающего сектора России, оказывающие ключевое влияние на эффективную реализацию инновационных проектов. Методологическая основа исследования строится на системном подходе, анализе литературных источников и синтезе результатов. В результате анализа были выявлены следующие особенности: двойственная роль государственной политики, фокус на импортозамещении, высокая зависимость от устаревшей инфраструктуры и региональная логистическая специфика. Проведенный анализ показал, что процессы цифровой трансформации в российском горнодобывающем секторе характеризуются уникальными барьерами и возможностями, обусловленными как внешними факторами (геополитика, санкции, региональные ограничения), так и внутренними условиями (изношенность инфраструктуры, специфика государственной политики). Сделан вывод, что ключом к преодолению барьеров является адаптация стратегии цифровой трансформации под уникальные условия отечественной экономики, а также необходимость стратегической согласованности видов деятельности предприятий как основы устойчивого развития.

Ключевые слова: цифровая трансформация, барьеры цифровизации, горнодобывающий сектор, цифровая зрелость, цифровая стратегия

Для цитирования: Сулимов М.Ю. Цифровая трансформация в горнодобывающем секторе России: особенности и стратегические подходы. *Горная промышленность*. 2025;(4):104–108. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-104-108>

Digital transformation in the Russian mining sector: specific features and strategic approaches

M.Yu. Sulimov^{1, 2}✉

¹ National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation

² GINTELL LLC, Moscow, Russian Federation

✉ m2301974@edu.misis.ru

Abstract: The paper analyzes processes of digital transformation in the context of modern economical and geopolitical challenges. It examines the specific features of the Russian mining sector that have a key impact on the effective implementation of innovative projects. The methodological basis of the study is built on the system approach, analysis of publications, and synthesis of results. The analysis revealed the following features: the dual role of the governmental policy, the focus on import substitution, the high dependence on outdated infrastructure, and the specific logistics conditions in the regions. The analysis showed that the processes of digital transformation in the Russian mining sector are characterized by unique barriers and opportunities, caused by both external factors (geopolitics, sanctions policy, regional restrictions) and internal conditions (infrastructure wear and tear, specific features of the state policy). A conclusion was made that the key to overcome barriers is to adapt the digital transformation strategy to the unique conditions of the national economy, as well as the need for strategic coordination of companies' activities as the basis for sustainable development.

Keywords: digital transformation, barriers to digitalization, mining sector, digital maturity, digital strategy

For citation: Sulimov M.Yu. Digital transformation in the Russian mining sector: specific features and strategic approaches. *Russian Mining Industry*. 2025;(4):104–108. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-104-108>

Введение

Цифровая трансформация становится стратегическим направлением развития предприятий горнодобывающей отрасли России, несмотря на внешние и внутренние ограничения. Пандемия COVID-19, геополитические санкции и экономическая нестабильность вынудили компании пересмотреть приоритеты, что, в свою очередь, стимулировало поиск внутренних резервов для модернизации¹. Активное участие государственных институтов и программы поддержки, такие как «Цифровая экономика РФ», наряду с ориентацией на импортозамещение способствуют развитию отечественных цифровых решений² [1].

Анализ отечественных и зарубежных источников показывает согласованность результатов исследований влияния цифровых технологий на производственные процессы горнодобывающих компаний. Основным тезисом данных исследований является то, что цифровая трансформация направлена на повышение производственной и командной эффективности, безопасности и устойчивости, но требует комплексного подхода, включающего технологические инновации, государственную поддержку и преодоление институциональных барьеров [2–7].

Результаты

Процесс цифровой трансформации компаний горнодобывающего сектора представляет собой сложный и многоаспектный процесс, который отличается рядом особенностей.

Эти особенности обусловлены характеристикой самой отрасли, внутренними и внешними экономическими вызовами, а также условиями быстро меняющегося технологического ландшафта.

В целом горно-металлургический сектор отличается от других секторов своей глубокой зависимостью от природных ресурсов и геологических условий, фокусом на безопасность труда и экологическую устойчивость, характерной сложностью и масштабом технологических процессов, а также значительными инвестициями в оборудование и инфраструктуру.

Все эти условия повлияли на то, что в отрасли сложилось двоякое мнение о цифровой трансформации. С одной стороны, концепция этого процесса выражается в качественно новых подходах и принципах, на основании которых возможно глубокое преобразование структуры экономики с целью повышения ее эффективности, устойчивости и предсказуемости. Основными ограничивающими факторами являются сложность и стоимость проектов трансформации, а также длительный срок окупаемости и ожидания результатов. В целом о барьерах, с которыми сталкиваются компании, можно судить по проведенным межотраслевым опросам (рис. 1).

В свою очередь, российская горнодобывающая отрасль обладает еще более специфическими особенностями, которые обусловлены социально-экономическим и технологическим контекстом. Эти особенности отличают россий-



Рис. 1

Барьеры, с которыми сталкиваются организации по отраслям, % от числа организаций, использующих или планирующих использовать цифровые технологии
Источник: Цифровые технологии в бизнесе: практики и барьеры использования. 24 янв. 2024. Режим доступа: <https://issek.hse.ru/news/890550436.html> (дата обращения: 20.02.2025).

Fig. 1

Barriers faced by organizations across industries, % of the number of organizations using or planning to use digital technologies

Sources: Digital technologies in business: practices and barriers for application. January 24, 2024. Available at: <https://issek.hse.ru/news/890550436.html> (accessed: 20.02.2025).

1 Цифровизация промышленности. Обзор TAdviser. Режим доступа: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Обзор_Цифровизация_промышленности_2024 (дата обращения: 20.02.2025).

2 Обзор состояния цифровизации горно-металлургической отрасли в России – 2023. Режим доступа: <https://tedo.ru/metals-mining-digitalization> (дата обращения: 20.02.2025).

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Digital technologies

ский опыт от глобальных тенденций и требуют детального анализа для понимания барьеров и возможностей, возникающих в ходе трансформации.

В результате анализа выявлены следующие уникальные характеристики:

1. Двойственная роль государственной политики: стимулы и ограничения

Государственное регулирование в России играет определяющую роль в процессе цифровой трансформации. С одной стороны, государственные инициативы создают стимулы для внедрения цифровых технологий через субсидии, налоговые льготы и льготное кредитование³. С другой стороны, бюрократические процедуры и сложность согласования проектов с государственными органами часто замедляют темпы трансформации [8].

Особенность в этом случае заключается в том, что Россия сочетает амбициозные государственные цели с ограничениями, связанными с геополитической изоляцией, что приводит к формированию специфической экосистемы цифровизации, ориентированной на внутренние ресурсы.

2. Фокус на импортозамещении как драйвер и ограничение

Геополитические санкции, введенные после 2014 г. и усиленные в 2022 г., вынуждают российские горнодобывающие компании переориентироваться на отечественные цифровые решения. Это привело к росту доли российского ПО на рынке: например, решения 1С занимают 67% рынка ERP-систем в горнодобывающей отрасли [9].

Однако этот процесс имеет и обратную сторону: ограниченный доступ к передовым технологиям, таким как высокопроизводительные вычислительные платформы или специализированные IoT-решения, замедляет внедрение инноваций. Например, в то время как глобальные лидеры (Anglo American) используют облачные платформы для интеграции данных в реальном времени, российские компании часто полагаются на локальные серверы из-за требований кибербезопасности и санкционных рисков⁴.

С одной стороны, это стимулирует развитие национального ИТ-сектора, но одновременно создает технологический лаг, снижая скорость адаптации к мировым стандартам цифровизации. Кроме того, российские компании ожидают от разработчиков ряда преимуществ, которые могут существенным образом сказаться на выборе и эксплуатации решений (рис. 2).

3. Высокая зависимость от устаревшей инфраструктуры

Горнодобывающая отрасль России характеризуется значительной долей износа основных фондов. Это создает уникальный барьер для цифровой трансформации, поскольку внедрение современных технологий требует предварительной модернизации физической инфраструктуры.

В то же время устаревшая инфраструктура стимулирует развитие гибридных решений, таких как использование компьютерного зрения [10]. Это позволяет компаниям постепенно переходить к цифровизации, минимизируя первоначальные инвестиции.

Учитывая эту особенность, Россия вынуждена адаптировать цифровые технологии к устаревшей инфраструктуре,

3 Стратегическое направление в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности: распоряжение Правительства РФ от 06.11.2021 г. №3142-р. Режим доступа: <http://government.ru/docs/all/137376/> (дата обращения 20.02.2025).

4 Anglo American Technical and Innovation Update. Available at: Anglo-American:<https://www.angloamerican.com/-/media/Files/A/AngloAmericanGroup/PC/media/presentations/2021pres/technical-and-innovation-update-2021-transcript.pdf> (accessed: 20.02.2025).

Какие преимущества отечественных технических средств для автоматизации бизнес-процессов вы бы отметили?

	Да	Возможно	Нет
Санкционная устойчивость	65%	25%	2%
Более выгодная цена по сравнению с зарубежным аналогом	42%	33%	13%
Простота использования по сравнению с зарубежными аналогами	26%	33%	26%
Дополнительный функционал, адаптация для российского бизнеса и законодательных условий	45%	30%	11%
Качество технической поддержки	25%	35%	25%
Более гибкие условия оплаты и доработки	41%	28%	15%

Рис. 2

Исследование ожидаемых преимуществ отечественных решений

Источник: Эффективность цифровой трансформации. Режим доступа: <https://www.comindware.ru/bpm-effectiveness-russia-2022/> (дата обращения: 20.02.2025).

Fig. 2

Studies into the expected benefits of domestic solutions

Sources: <https://www.comindware.ru/bpm-effectiveness-russia-2022/> (accessed: 20.02.2025).

что приводит к формированию специфических гибридных моделей цифровизации, отсутствующих на глобальном рынке.

4. Региональная специфика и логистические вызовы

Горнодобывающие предприятия России часто расположены в труднодоступных регионах (Сибирь, Дальний Восток), где ограничена цифровая инфраструктура, такая как высокоскоростной интернет или стабильное энергоснабжение. В России компании вынуждены разрабатывать автономные цифровые решения, такие как локальные сети передачи данных или энергонезависимые системы управления, что увеличивает затраты на разработку и внедрение [11].

На основании проведённого исследования и анализа барьеров, препятствующих цифровой трансформации горнодобывающих компаний России, можно выделить ключевые рекомендации по приоритизации действий. Эти рекомендации направлены на преодоление наиболее значимых препятствий и повышение эффективности процессов в условиях отечественной цифровой трансформации.

1. Разработка и внедрение единой цифровой стратегии (Наивысший приоритет)

Обоснование: Отсутствие единой цифровой стратегии является одним из главных барьеров, так как фрагментарное внедрение технологий снижает эффективность управления и интеграцию в сложных горных процессах. Чёткий план позволяет скоординировать усилия и достичь поставленных целей.

Действия: Разработка целостной модели цифровой трансформации с использованием архитектурных подходов (например, TOGAF) [12]. Определение ключевых целей и метрик для оценки прогресса.

2. Повышение цифровой зрелости бизнес-процессов (Высокий приоритет)

Обоснование: Недостаточная цифровая зрелость процессов приводит к хаотичной автоматизации, снижая производительность и увеличивая риски. Оптимизированные процессы – основа для успешного внедрения цифровых решений.

Действия: Проведение аудита и реинжиниринга бизнес-процессов для их оптимизации. Внедрение системы управления бизнес-процессами (BPM) для автоматизации

и мониторинга. Обеспечение интеграции между подразделениями и системами.

3. Обучение и развитие квалифицированных кадров (Высокий приоритет)

Обоснование: Нехватка специалистов с цифровыми компетенциями ограничивает внедрение сложных технологий, таких как искусственный интеллект, большие данные и роботизация. Без квалифицированных кадров эффективность цифровых инициатив снижается.

Действия: Разработка программ обучения и повышения квалификации сотрудников. Привлечение внешних экспертов для обмена опытом. Сотрудничество с вузами для многостороннего взаимодействия.

4. Модернизация инфраструктуры и технологий (Средний приоритет)

Обоснование: Устаревшая инфраструктура несовместима с современными цифровыми решениями, что увеличивает затраты и снижает производительность. Модернизация необходима, но может быть реализована поэтапно.

Действия: Оценка текущей инфраструктуры и определение приоритетных областей для обновления. Инвестирование в современное оборудование и ИТ-системы. Применение поэтапного подхода для снижения капитальных затрат.

5. Обеспечение финансирования цифровых проектов (Средний приоритет)

Обоснование: Цифровая трансформация требует значительных инвестиций, особенно в капиталоёмкой горной отрасли. Недостаток средств замедляет прогресс, но проблему можно решить через оптимизацию и внешние источники.

Действия: Разработка бизнес-кейсов с расчётом возврата инвестиций (ROI). Приоритизация проектов с наибольшим потенциалом.

6. Преодоление сопротивления персонала и развитие цифровой культуры (Средний приоритет)

Обоснование: Сопротивление сотрудников может замедлить трансформацию, но его можно преодолеть через вовлечение и мотивацию. Цифровая культура способствует адаптации к изменениям.

Действия: Вовлечение персонала в процесс трансформации через обучение и коммуникацию. Создание программ мотивации для использования новых технологий. Развитие корпоративной культуры, ориентированной на инновации.

7. Управление капиталоёмкостью и сложностью интеграции (Низкий приоритет)

Обоснование: Высокая капиталоёмкость и сложность интеграции значимы, но их влияние можно минимизировать через поэтапное внедрение и тщательное планирование.

Действия: Разделение проекта на этапы с промежуточными целями. Использование модульных решений для упрощения интеграции. Проведение тестирования и пилотирования перед запуском.

Заключение

Проведённый анализ показал, что процессы цифровой трансформации в российском горнодобывающем секторе характеризуются уникальными барьерами и возможностями, обусловленными как внешними факторами (геополитика, санкции, региональные ограничения), так и внутренними условиями (изношенность инфраструктуры, специфика государственной политики). Основной вызов заключается в необходимости интеграции современных цифровых решений в контекст устаревших производственных мощностей и ограниченных ресурсов, что требует адаптации стратегий цифровизации под реальные условия эксплуатации.

Для успешной реализации цифровой трансформации необходимы стратегическая согласованность между государственными инициативами и корпоративными программами развития, а также формирование единой цифровой стратегии, учитывающей специфику каждого предприятия.

Таким образом, становится очевидной необходимость комплексного подхода к цифровой трансформации горнодобывающих компаний России. Преодоление выявленных барьеров и реализация предложенных рекомендаций позволят не только повысить эффективность и безопасность производственных процессов, но и укрепить конкурентные позиции отрасли, обеспечив её устойчивое развитие в условиях цифровой экономики и геополитических изменений. Актуальность научной проблемы и убедительность исследуемых положений подтверждают, что цифровая трансформация – это не просто тренд, а жизненно важный шаг для будущего горнодобывающей отрасли России.

Список литературы / References

- Матерова Е.С., Аксенова Ж.А., Шарафуллина Р.Р., Галимова Г.А., Шилов М.Л. Цифровизация деятельности российских компаний горнодобывающей отрасли. *Уголь*. 2024;(11):117–121.
Materova E.S., Aksenova Zh.A., Sharafullina R.R., Galimova G.A., Shilov M.L. Digitalization of operations in the Russian mining companies. *Ugol'*. 2024;(11):117–121. (In Russ.)
- Shvedina S.A. Digital transformation of mining enterprises contributes to the rational use of resources. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;408:012064. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/408/1/012064>
- Mottaeva A., Gordeyeva Y. Sustainable development of the mining industry in the context of digital transformation. *E3S Web of Conferences*. 2024;531:01032. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453101032>

4. Li L., Li Y., Xiang Y. Strategic analysis of profit structure and quality improvement in digital transformation of advanced manufacturing industries. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*. 2024;9(1):1–17. DOI: <https://doi.org/10.2478/amns-2024-2858>
5. Yarkova T.A., Dykusova A.G., Kolesnikova T.V. Opportunities and prospects of digitalization in Russian coal industry. In: *Proceedings of the Trends and Innovations in Economic Studies, Science on Baikal Session (TIESS 2020), Irkutsk, 24–26 September, 2020*. Irkutsk: IRNITU; 2020, pp. 688–697. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2020.12.90>
6. Рыльникова М.В., Струков К.И., Радченко Д.Н., Есина Е.Н. Цифровая трансформация – условие и основа устойчивого развития горнотехнических систем. *Горная промышленность*. 2021;(3):74–78. <https://doi.org/10.30686/1609-91922021-3-74-78>
Rylnikova M.V., Strukov K.I., Radchenko D.N., Esina E.N. Digital transformation: a prerequisite and foundation for sustainable development of mining operations. *Russian Mining Industry*. 2021;(3):74–78. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-91922021-3-74-78>
7. Merma Y.P.C. Mining 4.0: A digital transformation approach to mining sector: A peruvian case study. In: *2023 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET), Monterrey, Mexico, 23-27 July 2023*. IEEE; 2023, pp. 1–4. <https://doi.org/10.23919/PICMET59654.2023.10216804>
8. Лядский В.Л. Технологии информационного моделирования - основа цифровизации горной промышленности. *Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений*. 2022;(6):46–50. <https://doi.org/10.55341/ptrbs.2022.61.6.007>
Lyadsky V.L. Information modeling technologies – the basis of digitalization of the mining industry. *Natural and Technogenic Risks. Safety of Structures*. 2022;(6):46–50. (In Russ.) <https://doi.org/10.55341/ptrbs.2022.61.6.007>
9. Сарычев А.Е., Семенихин Д.Е. Инновационные тренды развития мировой горнодобывающей отрасли: цифровизация управлеченческих и операционных процессов. *Экономика, предпринимательство и право*. 2023;13(8):2897–2908. <https://doi.org/10.18334/epp.13.8.118702>
Carychev A.E., Semenikhin D.E. Global trends in the mining industry: ERP and BI. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2023;13(8):2897–2908. (In Russ.) <https://doi.org/10.18334/epp.13.8.118702>
10. Калашников В.А., Соловьев В.И. Приложения компьютерного зрения в горнодобывающей промышленности. *Прикладная информатика*. 2023;18(1):4–21. <https://doi.org/10.37791/2687-0649-2023-18-1-4-21>
Kalashnikov V.A., Soloviev V.I. Applications of computer vision in the mining industry. *Journal of Applied Informatics*. 2023;18(1):4–21. <https://doi.org/10.37791/2687-0649-2023-18-1-4-21>
11. Симонов К.В. Российская логистика и управление цепями поставок: вызовы и актуальные решения. *Управленческие науки / Management Sciences*. 2024;14(1):71–87. <https://doi.org/10.26794/2404-022X-2024-14-1-71-87>
Simonov K.V. Russian logistics and supply chain management: Challenges and relevant solutions. *Management Sciences*. 2024;14(1):71–87. <https://doi.org/10.26794/2404-022X-2024-14-1-71-87>
12. Долганова О.И., Деева Е.А. Готовность компаний к цифровым преобразованиям: проблемы и диагностика. *Бизнес-информатика*. 2019;13(2):59–72. <https://doi.org/10.17323/1998-0663.2019.2.59.72>
Dolganova O.I., Deeva E.A. Company readiness for digital transformations: problems and diagnosis. *Business Informatics*. 2019;13(2):59–72. <https://doi.org/10.17323/1998-0663.2019.2.59.72>

Информация об авторе

Сулимов Максим Юрьевич – аспирант, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российской Федерации, ведущий специалист по планированию горных работ, ООО «ГИНТЕЛЛ», г. Москва, Российской Федерации; e-mail: m2301974@edu.misis.ru

Information about the author

Maksim Yu. Sulimov – Postgraduate Student, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation, Leading Specialist for planning of mining operations, GINTELL LLC, Moscow, Russian Federation; e-mail: m2301974@edu.misis.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 01.05.2025
Поступила после рецензирования: 18.06.2025
Принята к публикации: 27.06.2025

Article info

Received: 01.05.2025
Revised: 18.06.2025
Accepted: 27.06.2025



**Магаданский
механический
завод**

16+

РЕКЛАМА



БЫСТРО ПОСТАВЛЯЕМ
В КОНТЕЙНЕРАХ
В ЛЮБУЮ ТОЧКУ МИРА



НАДЕЖНОСТЬ,
ПРОВЕРЕННАЯ ГОДАМИ,
И ПРИЕМЛЕМАЯ СТОИМОСТЬ



ШИРОКАЯ
ГЕОГРАФИЯ
ПОСТАВОК

ГГМ-3

Промывочный прибор
на базе пластинчатого
грохота



Компактность
конструкции



Способность промывать пески
с крупными валунами до 1,2 м



Производительность 70 м³



Из износостойкой конструкционной стали
с дополнительной цементацией втулки
цепи HRC до 60 ед.

Предназначен для промывки и обогащения золото-содержащих песков
при бульдозерной разработке продуктивных песков россыпных,
валунистых месторождений.

Свяжитесь с нами:

sales@mmzco.ru
mmzco.ru



+7 (4132) 62-35-23
62-49-93



АО «Магаданский механический завод»
685000, г. Магадан, ул. Пушкина, 16

Эффективность утилизации отходов добычи и переработки в процессах горного производства

В.И. Голик¹✉, А.В. Титова²

¹ Московский политехнический университет, г. Москва, Российская Федерация

² Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

✉ v.i.golik@mail.ru

Резюме: Проблемы взаимодействия человека с природой и сохранения окружающей среды как реакции на техногенное вмешательство в ее экосистемы приобрели приоритетность и актуальность по сравнению с другими направлениями деятельности человека в наступающем постиндустриальном периоде. Прогресс горного производства в условиях роста промышленного потенциала обуславливает необходимость комбинирования возможностей промышленного мониторинга и технологий утилизации промышленных отходов с включением в природный оборот веществ. Установлены закономерные связи между секторами производства и эффективностью регулирования соотношения техногенных и природных факторов промышленного производства горного региона. Определен механизм совместного воздействия мелкофракционных и газообразных отходов горнопромышленного производства. Доказано, что на состояние окружающей среды горнодобывающего региона решающее влияние оказывают промышленные технологии добычи и переработки минералов. Предложен алгоритм оценки эффективности технологий утилизации отходов. Предложен комплекс технологий утилизации минеральных отходов и определены перспективные направления их реализации. Подтверждены обоснованность и достоверность результатов исследований, выводов и рекомендаций. Результаты исследования могут быть востребованы при модернизации технологий добычи и переработке металлического сырья на действующих предприятиях и проектировании новых ресурсо- и природосберегающих технологий.

Ключевые слова: техногенное вмешательство, горное производство, промышленный мониторинг, ресурсосберегающие технологии, утилизация, механизм взаимодействия, алгоритм оценки

Для цитирования: Голик В.И., Титова А.В. Эффективность утилизации отходов добычи и переработки в процессах горного производства. *Горная промышленность*. 2025;(4):110–114. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-110-114>

Efficiency of mining and processing waste utilization in mining processes

V.I. Golik¹✉, A.V. Titova²

¹ Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation

² Vernadsky State Geological Museum of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

✉ v.i.golik@mail.ru

Abstract: The issues of human interaction with the nature and preservation of the environment as a reaction to man-made interference in its ecosystems have gained priority and relevance in comparison with the other areas of human activities in the coming post-industrial period. The progress of mining production in the context of the growing industrial potential makes it necessary to combine the capabilities of industrial monitoring and technologies to dispose of industrial waste with introduction of the resulting products in the natural material cycles. Characteristic correlations have been established between the production sectors and the efficiency of controlling the ratio of the man-made and natural factors of industrial production in a mining region. The mechanism of the combined effect of fine-grained and gaseous mining waste has been determined. Industrial technologies of mining and processing of minerals are proved to have a decisive impact on the condition of the environment in the mining regions. An algorithm technologies is offered to evaluate the efficiency of waste disposal. A set of technologies for the disposal of mineral waste is proposed and promising areas for their implementation are identified. The validity and reliability of the research results, conclusions and recommendations have been confirmed. The results of the study may be required when modernizing technologies for minng and processing of metal raw materials at existing operations and when designing new resource and nature-saving technologies.

Keywords: man-made intervention, mining, industrial monitoring, resource saving technologies, utilization, interaction mechanism, evaluation algorithm

For citation: Golik V.I., Titova A.V. Efficiency of mining and processing waste utilization in mining processes. *Russian Mining Industry*. 2025;(4):110–114. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-110-114>

Введение

Добыча и переработка минерального сырья производятся в рамках совокупности веществ, устойчивой во времени и открытой в отношении притока и оттока материальных компонентов системы. Любое воздействие на экосистему вызывает ответную реакцию, энергия которой зависит от степени вмешательства в природную окружающую среду.

Для горнопромышленных регионов типа РСО-Алания проблема взаимодействия человека с природой, сохранения, восстановления и улучшения окружающей среды приобрела наибольшую остроту и актуальность по сравнению с другими направлениями деятельности. Она исследована в пионерном порядке на старейшем в России жильном месторождении (Зgidское) [1; 2]. Ресурсосберегающие технологии освоения месторождений полезных ископаемых характеризуются результатами опытного выщелачивания металлов из отходов обогащения цветных и черных руд [3; 4], а также углей [5]. Сформулирована концепция и наметилась тенденция создания и освоения технологии переработки и утилизации отходов обогащения горнодобывающей отрасли [6; 7].

Состояние природной среды горнодобывающего региона имеет особенности, объясняющие влиянием технологий добычи и переработки минералов и орогидрографическими условиями горной системы. Ведущую роль здесь играют ветровые и пылевые потоки. Одним из путей снижения техногенной нагрузки является утилизация промышленных отходов, поэтому разработка и внедрение технологий утилизации отходов промышленного производства являются актуальной научной задачей.

Концепцию комплексной и глубокой переработки минерального сырья техногенного происхождения, ее состояние и перспективы исследуют зарубежные специалисты [8; 9]. Основная идея выщелачивания металлов детализируется работами исследователей данного направления горного производства [10; 11]. Исследуются аспекты применения технологий утилизации хвостов горных переделов для конкретных целей, например, для повышения технологических свойств твердеющей закладочной смеси [12].

Цель исследования – обоснование возможности развития горного производства путем утилизации промышленных отходов добычи и переработки руд.

Материалы и методы

Обобщение, анализ практики, теоретические исследования, физическое и математическое моделирование, лабораторный и производственный эксперимент и анализ результатов исследований с использованием методов математической статистики.

Влияние отходов на окружающую среду оценивается по результатам комплексного контроля, полученным путем мониторинга. Закономерности формирования потоков загрязняющих веществ в атмосфере над холмистой подстилающей поверхностью описываются моделью.

Результаты

Уменьшение величины ущерба от добычи и переработки минералов достигается в результате природоохранных мероприятий: утилизации очищенных, неочищенных и выбрасываемых в биосферу неочищенных отходов.

В РСО-А накоплено до 4 млн т промышленных отходов 1–4-го классов опасности (табл. 1).

При переработке 1 т руды получается около 1 т хвостов. При подземной разработке на 100 т рудной массы добыва-

Таблица 1
Образование горнопромышленных отходов, т

Table 1
Generation of mining waste, tons

Отрасль	Образовано	Утилизировано	Складировано
Цветная металлургия	146 900	81 427	32 360
Металлообработка	1770	468	590
Химическая промышленность	55	1	0,5

ется 20...30 т пустой породы и некондиционной руды. При обогащении рудной массы на обогатительной фабрике выделяется не менее 20...30% хвостов от объема добытой массы. Одна тонна товарной руды дает 1,4...1,6 т отходов горного и металлургического производств (табл. 2).

Таблица 2
Характеристика отходов при переделах

Table 2
Waste characteristics at the process stages

Отходы	Крупность, мм	Источник получения	Выход, %
Породы	–500 + 350	Проходка выработок	3...4
Некондиционные руды	–500 + 350	Нарезные выработки	10...12
Некондиционные руды	–500 + 350	Очистные выработки	3...5
Некондиционные руды	–250 + 50	Хвосты обогащения	20...30
Песчаные	–0,5 + 0,043	Хвосты металлургии	17...22
Илистые	–0,043	Хвосты металлургии	15...25

Смеси с добавками дробленых пород и хвостов переработки по прочности превышают базовую песчано-шлаковую смесь при расходе шлака 400 кг/м³ смеси. Если для смеси с добавками дробленых горных пород 30–50% от общей массы заполнителей оптимальное соотношение вяжущего к заполнителю составляет 1/6–1/7, то для хвостов в смеси при их содержании 30–50% количество шлака может быть уменьшено до 150 кг/м³.

Хвосты гидрометаллургического передела чаще всего содержат известняки, алевролиты и фосфогипс. Прочность на сжатие образцов твердеющей смеси с применением в качестве заполнителя хвостов гидрометаллургического завода увеличивается в 1,5–2,0 раза. Включение мелкофракционных «хвостов» в состав смесей улучшает их однородность.

Твердая фаза хвостов ГМЗ состоит из тонкоизмельченной горной массы. Модуль крупности 0,022–0,078, содержание глинистых и пылеватых частиц 39–367%, только глинистых – 6,6–6,1%, насыпная плотность хвостов – 1,5–1,6 т/м³; удельная поверхность – 3600 см²/кг; естественная влажность – 18–26%.

Хвосты ГМЗ по гранулометрическому и химическому составам обеспечивают прочность большинства изделий (табл. 3).

Таблица 3
Прочность смеси
в зависимости
от влажности, МПа

Влажность, %	Время твердения, сут					
	180			360		
	<i>n</i>	σ_{ck}	K_b	<i>n</i>	σ_{ck}	K_b
6	160	0,88	21,8	154	1,48	17,4
8	172	1,28	22,3	166	1,80	18,0
12	42	3,23	10,4	42	4,67	15,5
16	48	6,35	9,6	42	8,46	17,1
20	46	8,26	18,7	42	10,14	10,6
24	27	8,00	16,1	24	9,34	11,6
30	6	5,62	6,4	6	7,48	8,8

Примечания: *n* – количество испытаний, σ_{ck} – среднеарифметическое значение прочности, МПа; K_b – коэффициент вариации, %

Note: *n* – number of tests, σ_{ck} – mean strength, MPa; K_b – coefficient of variation, %

В качестве инертного заполнителя используют хвосты обогащения руд месторождения. Оптимальные составы при соотношении компонент: хвосты обогащения – 600–750 кг; зола-унос ГРЭС – 180–220 кг; цементная пыль электрофильтров – 250–315 кг; цемент – 35–40 кг на 1 м³ закладки.

Для отработки месторождений с закладкой выработанного пространства используют составы на основе хвостов основной флотации с различным содержанием слюд при расходе комплексного вяжущего не менее 350 кг/м³ закладки. Смеси с хвостами обогащения сходны со смесями из хвостов металлургического передела, обладают еще большей насыщенностью водой, пластичностью и глиниацией.

Хвосты кучного выщелачивания обеспечивают прочность смеси с добавками хвостов кучного выщелачивания при одинаковом расходе шлака на 1 м² закладки большую, чем с дроблеными горными породами (табл. 4).

Регулирование качества среды осуществляется с использованием алгоритма (рис. 1).

Table 3
Strength of the mixture
depending on the moisture
content, MPa

Таблица 4
Прочность закладки при
различной кислотности
хвостов, МПа

Table 4
Stowing strength at different
acidity of the tailings, MPa

рН	Продолжительность выдержки, дн							
	30		90		180		360	
	<i>n</i>	σ_{ck}	K_b	<i>n</i>	σ_{ck}	K_b	<i>n</i>	σ_{ck}
1	0,6	10,7	11,2	8,7	13,2	9,8	15,0	9,2
2	0,7	9,8	10,3	7,9	15,5	10,3	16,0	8,8
3	0,9	8,7	12,4	14,1	15,3	8,9	16,4	7,9
4	0,9	12,1	11,8	9,6	15,6	11,1	16,3	8,7

Примечания: σ_{ck} – прочность образцов, МПа; K_b – коэффициент вариации, %
Note: σ_{ck} – strength of the samples, MPa; K_b – coefficient of variation, %

Особенностью работы комплексов с активацией в процессе приготовления материалов смеси является то, что их производительность зависит от типа активирующего аппарата (рис. 2), а также от удельного расхода шлака:

$$Q_{ck} = \frac{Q_a}{q_{uw}'},$$

где Q_{ck} – производительность закладочного комплекса, м³/ч; Q_a – производительность активатора при заданной тонкости помола, кг/ч; q_{uw}' – расход шлака для принятой прочности при данной тонкости, кг/м³.

Для повышения тонкости помола шлака требуется дополнительное оборудование, повышаются амортизационные отчисления, растут расходы на обслуживание оборудования, зарплату и материалы, энергетические затраты и т.д.:

$$C = C_a \frac{Q_k}{Q_a},$$

где C_a – затраты на активацию, руб/м³; Q_k – производительность комплекса при базовой тонкости частиц, м³/ч; Q_a – производительность комплекса при уменьшенной тонкости частиц, м³/ч.



Рис. 1
Алгоритм оценки эффективности технологий утилизации отходов

Fig. 1
An algorithm to evaluate the efficiency of waste utilization technologies

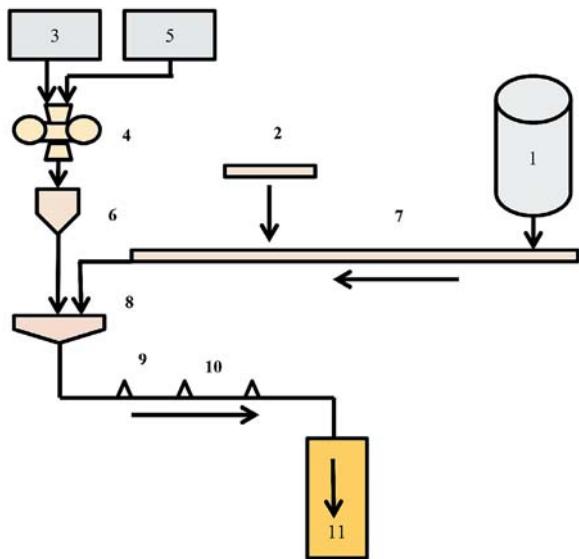


Рис. 2
Схема активации компонент твердеющих смесей:
1 – бункер цемента;
2 – виброгрохот; 3 – доменный шлак; 4 – дезинтегратор;
5 – вода; 6 – вибромельница;
7 – конвейер; 8 – смеситель;
9 – закладочный трубопровод;
10 – вибраторы;
11 – выработанное пространство

Fig. 2
A flow chart of activating the components of consolidating mixtures:
1 - cement hopper;
2 - vibrating screen;
3 - blast furnace slag;
4 - disintegrator; 5 - water;
6 - vibrating mill; 7 - conveyor;
8 - mixer; 9 - stowing pipeline;
10 - vibrators; 11
1 - mined space

Минимальная удельная стоимость твердеющей закладочной смеси:

$$C_{\min} = C_y q'_w + \frac{C_a Q_k}{Q_a},$$

где q'_w – расход шлака, кг/м³; C_y – стоимость твердеющей смеси, руб./м³.

Плотность твердеющей смеси с добавками дробленого материала:

$$\gamma_3 = \gamma_{\text{ис}} + P_{\text{пд}} \left(1 - \frac{\gamma_{\text{ис}}}{\gamma_{\text{п}}} \right),$$

где γ_3 – плотность твердеющей закладочной смеси с добавками пород, кг/м³; $\gamma_{\text{ис}}$ – плотность песчано-шлаковой твердеющей смеси, кг/м³; $P_{\text{пд}}$ – масса породы, кг/м³.

Качество активации материалов в активаторе по сравнению с базовым:

$$K_1 = 100 - \frac{\sigma_a}{\sigma_b} \cdot 100\%,$$

Таблица 5
Результаты испытания прочности смесей различными методами

где σ_a , σ_b – прочность контрольных кубов из смесей активированных и базовых компонент, МПа.

Приращение составляет: при активации материалов на виброгрохотах – 15–20%; в дезинтеграторах – 20–25%; в вибромельницах – 15–20%; в вибротранспортных установках – 10–15%.

Взаимосвязь прочности смеси с факторами приготовления проб описывается моделью:

$$[\sigma]_n < [\sigma]_c < [\sigma]_k = \int_{B=0}^{B_{\max}} f_x(dx_1, dx_2, dx_3, \dots, dx_n),$$

где $B = 0$, B_{\max} – расход вяжущих компонентов при постоянном значении инертных заполнителей и воды, кг/м³; x_1 – коэффициент избыточной влаги; x_2 – коэффициент превышения крупности частиц; x_3 – коэффициент ослабления прочности при отборе керна; x_4 – коэффициент превышения отмучиваемых частиц; x_5 – коэффициент упрочнения искусственных массивов; x_n – поправочные коэффициенты.

Эффективность природоохранных технологий:

$$\mathcal{E} = \left(\sum_{i=1}^n \ell_i - \sum_{i=1}^n \ell_0 \right) Q,$$

где $\sum_{i=1}^n \ell_i$, $\sum_{i=1}^n \ell_0$ – соответственно сумма затрат при базовой и оптимизированной технологиях, руб/м³; Q – объем использования технологий, м³.

Выводы

- Решающее влияние на экономику и состояние окружающей среды горнопромышленного региона оказывают технологии добычи, переработки и потребления минералов.
- Эффективность функционирования горнодобывающих предприятий повышается при соответствии технологий утилизации отходов и возможностей промышленного мониторинга, которая определяется величиной затрат на подготовку отходов к утилизации на основе модели, целевой функцией которой является максимум прибыли.
- Эффективности управленческих решений оцениваются с приоритетом охраны окружающей среды.
- Закономерные связи между секторами предприятия и механизм регулирования соотношений техногенных и природных факторов позволяют управлять производством горного региона.
- Эффективность технологий утилизации отходов, позволяющих получать прибыль и минимизировать влияние на экосистемы окружающей среды, обеспечивается использованием предложенного алгоритма.

Table 5
Results of testing the strength of mixtures using various methods

Состав смеси, кг/м ³				Прочность, МПа	Испытания кубов, МПа	Испытания кернов, МПа	Коэффициент прочности
Цемент	Шлак	Песок	Вода				
30	250	1416	370	1,0	макс.0,3 мин. 0,2 ср. 0,23	макс. 0,2 мин. 0,05 ср. 0,15	макс. 1,0 мин. 0,25 ср. 0,65
50	200	1416	370	1,3	макс. 0,6 мин. 0,2 ср. 0,11	макс. 0,3 мин. 0,04 ср. 0,11	макс. 0,5 мин. 0,20 ср. 0,33
70	180	1416	370	1,5	макс. 1,4 мин. 0,4 ср. 0,8	макс. 1,6 мин. 1,0 ср. 1,3	макс. 1,14 мин. 2,5 ср. 1,6

Список литературы / References

1. Golik V.I., Klyuev R.V., Martyushev N.V., Kondratiev V.V., Tynchenko V.S., Gladkikh V.A. et al. Reuse and mechanochemical processing of ore dressing tailings used for extracting Pb and Zn. *Materials*. 2023;16(21):7004; <https://doi.org/10.3390/ma16217004>
2. Golik VI., Klyuev R.V., Martyushev N.V., Zyukin D.A., Karlina A.I. Technology for nonwaste recovery of tailings of the Mizur mining and processing plant. *Metallurgist*. 2023;66(11-12):1476–1480. <https://doi.org/10.1007/s11015-023-01462-y>
3. Рыбак Я., Хайрутдинов М.М., Конгар-Сюрюн Ч.Б., Тюляева Ю.С. Ресурсосберегающие технологии освоения месторождений полезных ископаемых. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2021;13(3):406–415.
- Rybak Ya., Khayrutdinov M.M., Kongar-Syuryun Ch.B., Tyulyayeva Yu.S. Resource-saving technologies for development of mineral deposits. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021;13(3):406–415. (In Russ.)
4. Валиев Н.Г., Пропп В.Д., Абрамкин Н.И., Камболов Д.А. Практика применения выщелачивания металлов из некондиционного сырья и отходов обогащения руд. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(12-1):17–30. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_121_0_17
Valiev N. G., Propp V. D., Abramkin N. I., Kambolev D. A. The practice of leaching metals from substandard raw materials and ore dressing waste. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(12-1):17–30. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_121_0_17
5. Голик В.И., Титова А.В., Титов Г.И. К утилизации хвостов обогащения руд цветных металлов. *Горная промышленность*. 2023;(5):96–101. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5-96-101>
Golik VI., Titova A.V., Titov G.I. On utilization of concentration tailings of non-ferrous metal ores. *Russian Mining Industry*. 2023;(5):96–101. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5-96-101>
6. Иванков С.И., Троицкий А.В., Скобелев К.Д. Современные тенденции создания технологии переработки и утилизации отходов обогащения горно-обогатительной отрасли. *Научные и технические аспекты охраны окружающей среды*. 2021;(2):2–39. <https://doi.org/10.36535/0869-1002-2021-02-1>
Ivanov S.I., Troitsky A.V., Skobelev K.D. Modern trends in design technologies for recycling and utilization of mining and processing wastes. *Nauchnye i Tekhnicheskie Aspekty Okhrany Okruzhayushchei Sredy*. 2021;(2):2–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.36535/0869-1002-2021-02-1>
7. Амдур А.М., Федоров С.А., Матушкина А.Н. Извлечение золота из труднообогатимых руд и техногенных отходов путем их высокотемпературной обработки и последующей центробежной сепарации. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(11-1):95–106. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_111_0_95
Amdur A.M., Fedorov S.A., Matushkina A.N. Extraction of gold from definitely processing ores and technogenic waste by their high-temperature treatment and subsequent centrifugal separation. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(11-1):95–106. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_111_0_95
8. Xia Z., Zhang X., Huang X., Yang S., Chen Y., Ye L. Hydrometallurgical stepwise recovery of copper and zinc from smelting slag of waste brass in ammonium chloride solution. *Hydrometallurgy*. 2020;197:105475. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2020.105475>
9. Yavari M., Ebrahimi S., Aghazadeh V., Ghashghaei M. Intensified bioleaching of copper from chalcopyrite: decoupling and optimization of the chemical stage. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*. 2020;39(5):343–352.
10. Александрова Т.Н. Комплексная и глубокая переработка минерального сырья природного и техногенного происхождения: состояние и перспективы. *Записки Горного института*. 2022;256:503–504. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16064> (дата обращения: 13.04.2025).
Aleksandrova T.N. Complex and deep processing of mineral raw materials of natural and technogenic origin: state and prospects. *Journal of Mining Institute*. 2022;256:503–504. Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16064> (accessed: 13.04.2025).
11. Комарова А.Г., Чикишева Т.А., Прокопьев Е.С., Прокопьев С.А. Формы нахождения потенциально ценных компонентов в отходах углеобогатительной фабрики «Краснобродская-Коксовая». *Уголь*. 2023;(9):100–104. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-9-100-104>
Komarova A.G., Chikisheva T.A., Prokopiev E.S., Prokopiev S.A. Occurrence form of potentially valuable components in the Krasnobrodskaya-Koksovaya coal-processing plant waste. *Ugol'*. 2023;(9):100–104. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-9-100-104>
12. Медведев В.В., Овсейчук В.А. Повышение технологических свойств твердеющей закладочной смеси. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021;(3-2):71–80. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_32_0_71
Medvedev V.V., Ovseychuk V.A. Improvement of cemented backfill properties. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;(3-2):71–80. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_32_0_71

Информация об авторах

Голик Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры металлургии, Московский политехнический университет, г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-1181-8452>; e-mail: vi.golik@mail.ru

Титова Ася Владимировна – доктор технических наук, заместитель директора по развитию, Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: vikt_s@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 24.04.2025
Поступила после рецензирования: 05.06.2025
Принята к публикации: 26.06.2025

Information about the authors

Vladimir I. Golik – Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Metallurgy, Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-1181-8452>; e-mail: vi.golik@mail.ru

Aся V. Titova – Dr. Sci. (Eng.), Deputy Director for Development, V.I. Vernadsky State Geological Museum of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; e-mail: vikt_s@mail.ru

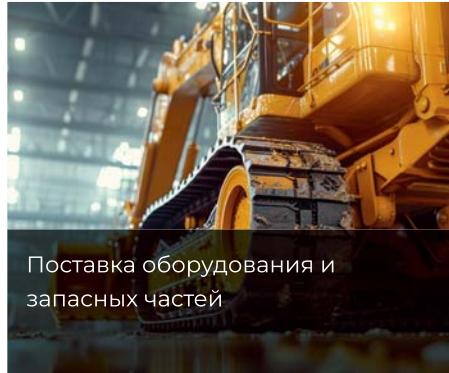
Article info

Received: 24.04.2025
Revised: 05.06.2025
Accepted: 26.06.2025

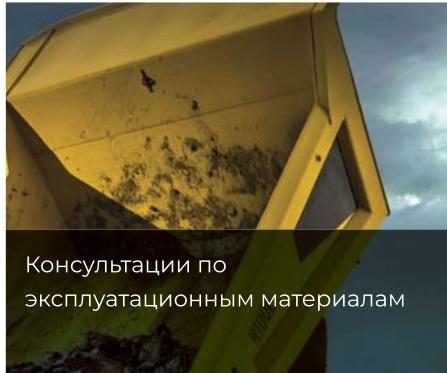


ООО «СЕРВИС МОДЕРН СОЛЮШЕНС» "SERVICE MODERN SOLUTIONS" LLC.

Московская область, г. Химки, Транспортный проезд, 2, пом.2.15
тел.: 8 (800) 101-75-81; info@servicemodern.ru
<https://servicemodern.ru>



Поставка оборудования и
запасных частей



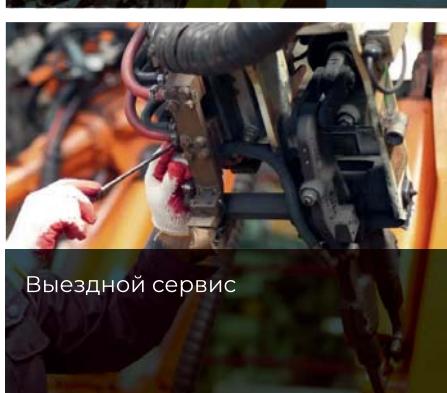
Консультации по
эксплуатационным материалам



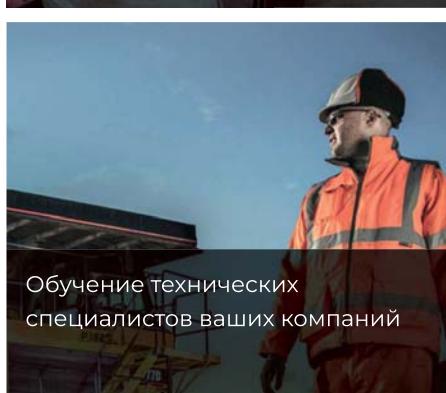
Обеспечение всесторонней
поддержки двигателей



Оказание содействия в
разработке проектов ремонтных
подразделений



Выездной сервис



Обучение технических
специалистов ваших компаний

ООО «Сервис Модерн Солюшенс» является официальным представителем международных компаний на территории России в области поставок горно-шахтного и строительного оборудования. Компания ведет начало своей деятельности с 2022 года. Сотрудники «Сервис Модерн Солюшенс», имеют многолетний опыт работы в компаниях специализирующихся по ремонту и техническому обслуживанию строительной и горной техники и обладают самыми передовыми компетенциями в организации процесса технической поддержки и сервисного обслуживания техники различных мировых производителей: Caterpillar, Komatsu, Liebherr, Epiroc, Sandvick, XCMG, UNIROC, LANHI, SMS и др.



CATERPILLAR SIEMENS ABB Perkins
DEUTZ OLYMTECH mtu SANDVIK Cummins
Epiroc Atlas Copco HITACHI KOMATSU



Компания «Сервис Модерн Солюшенс» осуществляет капитальные ремонты и сервисное обслуживание двигателей внутреннего сгорания производства Cummins, Deutz, Caterpillar, Komatsu, ЯМЗ как в собственных сервисных центрах, так и на территории заказчиков.

**«Сервис Модерн Солюшенс» дает гарантию на свои работы, и на запасные части,
которые используем в процессе ремонта.**

Работая с нами, Вы получаете надежный результат, качество, скорость, взаимоуважение.

Мониторинг индекса деловой репутации субъектов предпринимательской деятельности в отрасли добычи полезных ископаемых

И.В. Петров✉, П.С. Щербаченко, А.А. Тихомиров

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация

✉ IvVPetrov@fa.ru

Резюме: В настоящее время в России сформировалась необходимость внедрения риск-ориентированного подхода к принятию решений на государственном уровне и в бизнесе, в том числе связанном с добычей полезных ископаемых. Обществу необходима переориентация на поддержку проектов, реализуемых компаниями в рамках национальных целей развития для повышения их эффективности. Одновременно самим компаниям необходимы ориентиры для обоснования выбора мероприятий по обеспечению ведения благонадёжного, социально и экологически ответственного бизнеса, а также выбора надежных партнёров.

В статье рассматривается методика мониторинга индекса деловой репутации субъектов предпринимательской деятельности в сфере добычи полезных ископаемых в соответствии с приоритетами развития России. Рассмотрен переход от ESG-оценки бизнеса к ЭКГ-рейтингованию объектов предпринимательской деятельности, в том числе в области добычи полезных ископаемых.

Представлены межотраслевые сравнения ЭКГ-рейтингов по компаниям сектора «Добыча полезных ископаемых» в структуре субъектов РФ, в которых приняты законы об ответственном ведении бизнеса. Произведено рейтингование этих регионов по уровням ответственности горного бизнеса.

Исследование вносит вклад в развитие механизмов нефинансовой отчетности в ресурсозависимых отраслях. Даны основы методологии мониторинга индекса деловой репутации субъектов предпринимательской деятельности в отрасли добычи полезных ископаемых и определены основные направления исследований с использованием баз данных ЭКГ-рейтинга.

Ключевые слова: деловая репутация, ЭКГ-рейтинг, ответственный бизнес, государственная поддержка, горная промышленность, корпоративное управление, reputационные риски, устойчивое развитие

Для цитирования: Петров И.В., Щербаченко П.С., Тихомиров А.А. Мониторинг индекса деловой репутации субъектов предпринимательской деятельности в отрасли добычи полезных ископаемых. *Горная промышленность*. 2025;(4):116–121.
<https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-116-121>

Monitoring the business reputation index of enterprises in the mining industry

I.V. Petrov✉, P.S. Shcherbachenko, A.A. Tikhomirov✉

Financial University, Moscow, Russian Federation

✉ IvVPetrov@fa.ru

Abstract: Currently, there is a need in Russia to introduce a risk-based approach to decision-making at the state level and in business, including those related to mining. The society needs to refocus on supporting projects implemented by companies within the framework of national development goals in order to increase their effectiveness. At the same time, companies themselves need guidelines to justify the choice of measures to ensure that they conduct a reliable, socially and environmentally responsible business, while choosing reliable partners.

The article discusses a methodology for monitoring the business reputation index of enterprises in the Mining Sector in accordance with the priorities of Russia's development. Transition from the ESG business assessment to EPS rating of enterprises, including those in the Mining Industry, is considered.

The article presents cross-industry comparisons of the EPS ratings for companies in the Mining sector within the constituent entities of the Russian Federation, which have adopted laws on responsible business conduct. These regions are rated according to the levels of responsibility of the mining business.

The research contributes to the development of non-financial reporting mechanisms in the resource-dependent industries. The basics of the methodology for monitoring the business reputation index of enterprises in the Mining Industry are provided and the main research directions using the EPS rating databases are identified.

Keywords: business reputation, EPS rating, responsible business, government support, mining industry, corporate governance, reputational risks, sustainable development

For citation: Petrov I.V., Shcherbachenko P.S., Tikhomirov A.A. Monitoring the business reputation index of enterprises in the mining industry. *Russian Mining Industry*. 2025;(4):116–121. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-116-121>

Введение

Экспортно ориентированное развитие горной промышленности России потребовало интеграции в начале 2000-х годов представителей российских горнодобывающих корпораций и органов власти в крупные международные и региональные сообщества, в том числе связанных с экологической повесткой и корпоративной социальной ответственностью. Со стороны государства была выражена яркая поддержка закрепления на международном уровне ряда «устойчивых» инициатив, что было выражено в подписании и имплементации нескольких международных соглашений по климату и иным ESG-аспектам. Динамика усиления этого аспекта представлена в табл. 1.

Для российского бизнеса в деле внедрения практики «ответственности» сильно возросла роль стейкхолдеров внутри страны – теперь это государство на всех доступных уровнях и институты развития, а также банковская сфера, учитывающая тренды на развитие ответственного бизнеса и возможность за счет этого снижения рисков кредитования.

В настоящее время в России сформировалась необходимость внедрения риск-ориентированного подхода к принятию решений на государственном уровне и в бизнесе, в том числе банковском, о поддержке проектов, реализуемых компаниями в рамках национальных целей развития для повышения их эффективности. При этом самим компаниям необходимы ориентиры для обоснования выбора мероприятий по обеспечению ведения благонадёжного, социально и экологически ответственного бизнеса.

В последние годы такими ориентирами являлись цели устойчивого развития ООН (далее – ЦУР). Для оценки деятельности компаний по ESG-критериям в мире и России функционирует большое число специализированных рейтинговых агентств, которые оказывают коммерческие услуги клиентам как по разработке соответствующих стратегий

и отчетов, так и по их оценке. Этот перечень подходов разнообразен и бессистемен, поэтому ЦБ России осуществляет рекомендательное регулирование ESG-рейтингования как инструмента поддержки «зеленого» инвестирования.

Для реализации государственной повестки ориентации бизнеса на ответственность по отношению не только к ЦУР, но и к целям системы целеполагания развития российской экономики, ориентированной на учет экологических, социальных и управлеченческих приоритетов государства, инициативно предложен инструментарий ЭКГ-рейтингования. Актуальность рейтинга обусловлена необходимостью формирования системы оценки и поддержки ответственного бизнеса, учитывающей поддерживаемые государством запросы российского общества в части решения экологических, социальных и государственно-экономических задач.

Важным аспектом стратегического управления компаниями может стать формирование системы ЭКГ-рейтинга. Высокие показатели способствуют повышению доверия клиентов, улучшают имидж компании и, как результат, увеличивают продажи. В условиях глобализации и растущего интереса к устойчивому развитию компании с высоким уровнем ответственности получают конкурентное преимущество на рынке.

Деловая репутация субъектов экономической деятельности на современном этапе развития их взаимоотношений и экономики в целом становится одним из ключевых факторов конкуренции, надёжности деловых связей и бизнес-процессов, в том числе закупок.

Результаты

Дискуссии экономистов и представителей бизнес-сообщества о методиках оценки стабильности развития предпринимательства, а также объективные обстоятельства, повлиявшие на укрепление тренда импортозамещения

Таблица 1
Целеполагание в посланиях Президента России ФС РФ

Table 1
Definition of objectives in the Presidential Addresses
to the Federal Assembly of the Russian Federation

Дата послания	Цитата, связанная с тематикой устойчивого развития
30 января 2012 г.	«Новая стратегия должна основываться на презумпции добросовестности бизнеса – исходить из того, что создание условий для деятельности добросовестных предпринимателей важнее возможных рисков, связанных с недобросовестным поведением»
11 марта 2021 г.	«Важно, когда бизнес, компании на деле, конкретными решениями демонстрируют ответственность за страну, за регион, за город, в котором они работают, за специалистов в их коллективах, реализуют проекты в социальной сфере, в области защиты окружающей среды»
29 февраля 2024 г.	«Подчеркну: все меры государственной поддержки инвестиций, создание и модернизация предприятий должны быть увязаны с повышением заработных плат сотрудников, с улучшением условий труда и социальных пакетов для работников. Конечно, принципиальное требование: отечественный бизнес должен работать в российской юрисдикции, не выводить средства за рубеж, где, как оказалось, можно все потерять... Вкладывать ресурсы нужно в Россию, в регионы, в развитие компаний, в подготовку кадров. Самая надежная защита активов, капиталов российского бизнеса – наша сильная, суверенная страна»

Составлено по материалам посланий Президента Российской Федерации от 30.01.2012, 11.03.2021, 29.02.2024
Compiled using materials of Presidential Addresses as of 30.01.2012, 11.03.2021, 29.02.2024

ЭКОНОМИКА

Economy

и ориентации на собственный подход к стандартизации как альтернативе принципам ESG (Environmental Social Governance, «окружающая среда, социальные вопросы, ответственное управление»), привели к выработке национального стандарта ГОСТ Р71198–2023 «Индекс деловой репутации субъектов предпринимательской деятельности (ЭКГ-рейтинг)», утверждённого приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29.12.2023 №1765-ст и вступившего в силу с 1 февраля 2024 г.¹

В соответствии с данным стандартом организациям присваивается ЭКГ-рейтинг («Экология, Кадры, Государство») – комплексный свод параметров оценки субъектов предпринимательской деятельности для выявления не только их финансовой благонадёжности, но и социальной и экологической ответственности. Процедура оценки состоит из трёх этапов: предквалификация, во время которой исключаются неправоспособные и прекращающие деятельность предприятия, ежемесячный скоринг данных государственными структурами (Министерство юстиции РФ, ФНС России, ФАС России, Росфинмониторинг, Федеральное Казначество, ФССП России) и добровольное анкетирование самих участников рейтинга по вопросам их социальной и экологической ответственности. Анкеты размещаются на специальном интернет-портале, где можно ознакомиться и с итогами рейтинга². ЭКГ-рейтинг призван стать альтернативой международным стандартам развития бизнеса в повестке ESG, адаптированной для российских реалий.

В работе над рейтингом приняли участие: ФНС России; Счётная палата; аппарат Полномочного представителя Президента России в Центральном федеральном округе; Росстандарт; специалисты Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, Института демографической политики им. Д.И. Менделеева, фонда «Росконгресс» и Российского союза промышленников и предпринимателей.

Важно отметить, что участниками команды ЭКГ-рейтинга сформулированы основные принципы формирования рейтинга ответственного бизнеса, среди которых необходимо выделить следующие:

- доступность – все данные по оценке компаний можно найти в открытых источниках;
- масштабность – участниками рейтинга уже в 2023 г. было около 100 тыс. компаний;
- надёжность – формирование оценки с опорой на несколько официальных источников информации, а также результаты работы экспертных групп, представленных ведущими вузами страны;
- прозрачность – все данные, указываемые оператором рейтинга на официальном сайте индекса деловой репутации компаний, могут быть проверены любым лицом с использованием доступных официальных источников;
- актуальность – информация о деятельности участников рейтинга обновляется.

В соответствии с ГОСТ Р 71198–2023 аналитические оценки представлены в соответствующих разделах и учитывают следующие параметры:

1. Экология:

- соблюдение экологических норм;

¹ ГОСТ Р 71198–2023 Индекс деловой репутации субъектов предпринимательской деятельности (ЭКГ-рейтинг). Методика оценки и порядок формирования ЭКГ-рейтинга ответственного бизнеса. Режим доступа: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=256999> (дата обращения: 01.07.2025).

² ЭКГ-рейтинг. Режим доступа: <https://экт-рейтинг.рф/> (дата обращения: 01.07.2025).

– показатели комплексного воздействия бизнеса на окружающую среду;

– использование компанией наилучших доступных технологий.

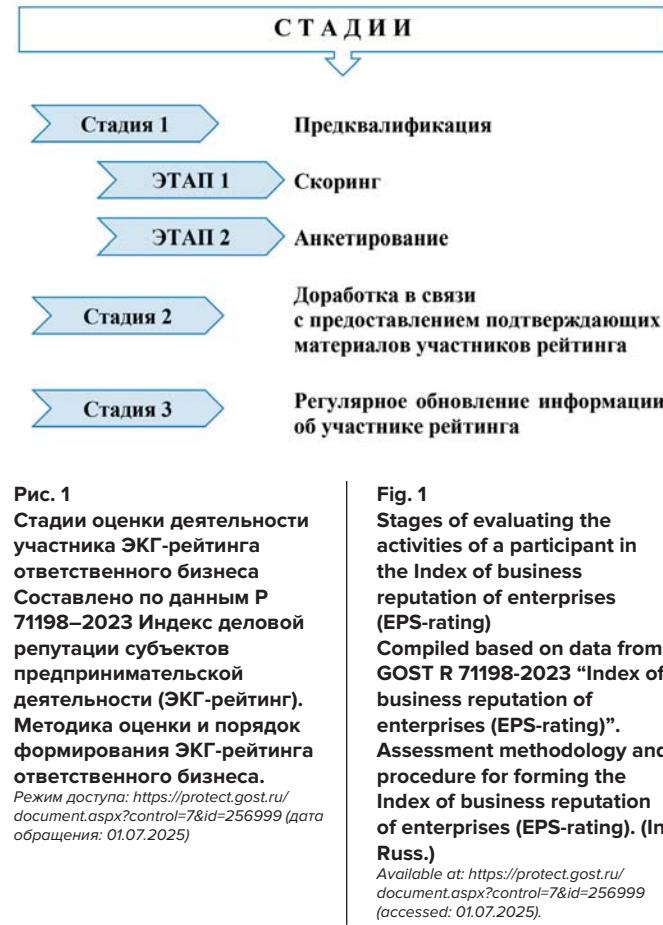
2. Кадры:

- корпоративные социальные гарантии (сверх установленных действующим законодательством);
- поддержка семей сотрудников;
- показатели уровня оплаты труда и текучести кадров;
- масштаб реализуемых компанией благотворительных и демографических программ.

3. Государство:

- финансовая устойчивость;
- налоговая история компании;
- социальные инвестиции в регионах присутствия.

Отдельно важно отметить, что информация по стадии предквалификации и этапу скоринга обновляется на официальном сайте рейтинга с каждой подачей налоговой декларации юридическим лицом. Этап анкетирования предприятия горной промышленности традиционно проходит один раз в год, чаще всего после подведения итогов финансового года (рис. 1).



Национальный стандарт является нормативно-техническим, а не нормативно-правовым документом, и компании имеют право не соблюдать ГОСТ. В этом случае предприниматель всё равно окажется в рейтинге, поскольку ЭКГ-рейтинг носит беззаявительный характер и зарегистрированные в ФНС России компании по умолчанию вносятся в базу, однако прохождение анкетирования не является обязательным. Стандарт ориентирован на формирование устойчивого понятия деловой репутации как одного из важней-

ших критериев современного ведения бизнеса в горной промышленности.

Впервые проект был запущен во Владимирской, Воронежской и Липецкой областях ещё в 2022 г., что позволило собрать достаточное количество данных о его эффективности перед масштабированием на федеральный уровень. В настоящее время участниками рейтинга в части прохождения стадии предквалификации и этапа скоринга являются практически все юридические лица и индивидуальные предприниматели, зарегистрированные в ЕГРЮЛ и ЕГРИП. Уже сейчас ЭКГ-рейтинг охватывает все 89 регионов России, а также предприятия г. Байконура в Республике Казахстан. На данный момент в соответствии с национальным стандартом оценено более 7 млн компаний: от крупного бизнеса до индивидуальных предпринимателей. ЭКГ-рейтинг – это единственный рейтинг, который позволил комплексно дать оценку предприятиям в таком масштабе. Динамика его развития представлена на рис. 2. Среди рейтингов, связанных с устойчивым развитием, он является самым масштабным в мире.

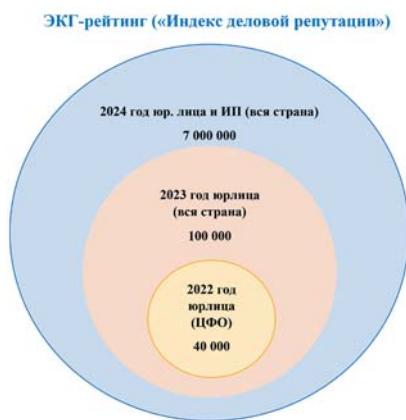


Рис. 2
Динамика развития рейтинга 2022–2024 гг.
Составлено авторами на основе открытых данных.

Fig. 2
Dynamics of the rating development in 2022–2024
Compiled by the authors based on data from open sources.

После введения в действие ЭКГ-рейтинга к настоящему времени в 14 субъектах Российской Федерации принятые законы о развитии ответственного ведения бизнеса, предоставляемые лидерам рейтинга значительные льготы и преференции.

Заинтересованность горнодобывающих компаний в наращивании репутационного капитала в последнее время увеличивается, а мотивация к участию в рейтинге продиктована такими возможными мерами государственной поддержки, как участие в контрактах, размещение заказов на закупки и кредитование бизнеса. При этом важно, что преференции одним участникам рынка по итогам рейтинга не означают ограничительных мер и ущерба для других, это должно стимулировать компании к ответственному ведению бизнеса и участию в рейтинговании. ЭКГ-рейтинг становится практическим инструментом диалога бизнеса и государства, прозрачной отчётности компаний без усложнённых бюрократических схем и излишних финансовых вложений.

В соответствии со стандартом рейтинга на основании полученной оценки участнику рейтинга присваивается соответствующий уровень в соответствии с набранными баллами (табл. 2).

Для повышения эффективности горного бизнеса необходима разработка корпоративной стратегии ответственного ведения бизнеса в части формирования технологий, стратегий и векторов устойчивого развития. Взаимодействие государства и бизнеса рассматривается с позиции формирования целевых интересов в области экологии, социальной политики, кадрового развития и эффективного управления. Для учета текущих особенностей развития государства необходимо разработка инструментов организации ответственного ведения бизнеса в части формирования технологий, стратегий и векторов устойчивого развития. При этом взаимодействие государства и бизнеса рассматривается с позиции формирования целевых интересов в области экологии, социальной политики, кадрового развития и эффективного управления [1].

Таблица 2
Система оценки ответственного бизнеса по баллу ЭКГ-рейтинга (0 – 160 баллов)

Table 2
Assessment system for responsible business based on the EPS-rating score (0–160 points)

Статус ЭКГ-рейтинга							
Лидер		Продвинутый		Средний		Базовый	
Оценка	Баллы	Оценка	Баллы	Оценка	Баллы	Оценка	Баллы
AAA	от 101	AA	91–100	BBB	71–80	CCC	41–50
				BB	61–70	CC	31–40
		A	81–90	B	51–60	C	до 30

Составлено по данным Р 71198–2023 Индекс деловой репутации субъектов предпринимательской деятельности (ЭКГ-рейтинг). Методика оценки и порядок формирования ЭКГ-рейтинга ответственного бизнеса. Режим доступа: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=256999> (дата обращения: 01.07.2025). Compiled based on data from GOST R 71198–2023 "Index of business reputation of enterprises (EPS-rating)". Assessment methodology and procedure for forming the Index of business reputation of enterprises (EPS-rating). (In Russ.) Available at: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=256999> (accessed: 01.07.2025).

ЭКГ-рейтинг позволяет рассмотреть направления деятельности предприятий, которые уделяют большое внимание повестке устойчивого развития. Так, в рейтинге представлено более 20 секторов экономики: энергетика, строительство, сельское хозяйство, финансовые услуги, добывающая промышленность и другие важнейшие отрасли России.

Методология мониторинга индекса деловой репутации субъектов предпринимательской деятельности в отрасли добычи полезных ископаемых должна базироваться на экономико-географическом подходе, что позволяет проанализировать уровень ответственного бизнеса с учетом отраслевого состава предприятий региона и применить научные методы к обоснованию результатов исследования. Так, например, возможно их использовать для таких уникальных территорий, как Арктическая зона Российской Федерации, на основе теории социально-экологического гомеостаза с учетом инструментов ответственного инвестирования и гармонизации национальных и региональных интересов для решения проблем эффективного и устойчивого развития территории и населения региона [2].

Для анализа ЭКГ-рейтинга компаний отрасли добычи полезных ископаемых исследованы 14 регионов Российской Федерации, в которых принятые региональные законы о развитии ответственного ведения бизнеса, доля горнодобывающих компаний в которых представлена в табл. 3. Наибольшая доля компаний в сфере добычи полезных ископаемых представлена в Забайкальском крае – более 19 на одну тысячу компаний-участников ЭКГ-рейтинга.

При этом следует отметить, что в рейтинге на июль 2025 г. представлена информация о 7620 компаниях сектора «Добыча полезных ископаемых».

Из представленного перечня регионов для исследования выбраны 10 субъектов Российской Федерации, характеризующихся наибольшей долей предприятий по сектору «Добыча полезных ископаемых». Конечно, при формировании выборки надо учитывать, что это компании разного производственного и мощностного уровня: от малого бизнеса по добыче общераспространенных полезных ископаемых до крупных горнодобывающих корпораций.

Таблица 3
Анализ доли компаний сектора «Добыча полезных ископаемых» в структуре субъектов РФ, в которых приняты законы об ответственном ведении бизнеса

Субъекты РФ, в которых приняты региональные законы о развитии ответственного ведения бизнеса	Количество компаний, ед.	Доля на тыс. юрлиц, ед.
Белгородская область	37	0,54
Владимирская область	121	2,19
Воронежская область	96	1,03
Липецкая область	58	1,37
Орловская область	54	2,06
Тамбовская область	22	0,69
Брянская область	63	1,62
Костромская область	35	1,43
Смоленская область	150	3,55
Курская область	39	1,07
Рязанская область	92	2,0
Тульская область	102	1,77
Забайкальский край	623	19,35
Московская область	411	0,84

Составлено авторами по ЭКГ-рейтингу. Режим доступа: <https://ekg-rating.ru/> (дата обращения: 01.07.2025)
Compiled by the authors using the EPS-rating. (In Russ.) Available at: <https://ekg-rating.ru/> (accessed: 01.07.2025).

В результате сформирован рейтинг субъектов РФ, в которых приняты законы об ответственном ведении бизнеса, в части сектора «Добыча полезных ископаемых» исходя из оценки ответственного бизнеса по баллу ЭКГ-рейтинга (рис. 3).

Определяя региональный рейтинг с учетом статуса горнопромышленных компаний, необходимо ориентироваться на ЭКГ-рейтинг уровня «лидер» и «продвинутый», соответствующих интервалу в баллах от 90 и выше из 160 (A, AA, AAA). Именно с этого уровня в регионах, ориентированных на нормативно правовую поддержку ответственного бизнеса, предстаивают наиболее значимые преференции. Таким образом, в семерку лидеров выделенных 14 регионов вошли:

1. Тамбовская область – 14%;
2. Владимирская – 9%;
3. Московская – 7%;
4. Забайкальский край – 7%;
5. Костромская – 6%;
6. Воронежская – 6%;
7. Липецкая – 5%.

Table 3
Analysis of the share of the Mining Sector companies in the mix of the Russian Federation entities that have adopted laws on conducting responsible businesses

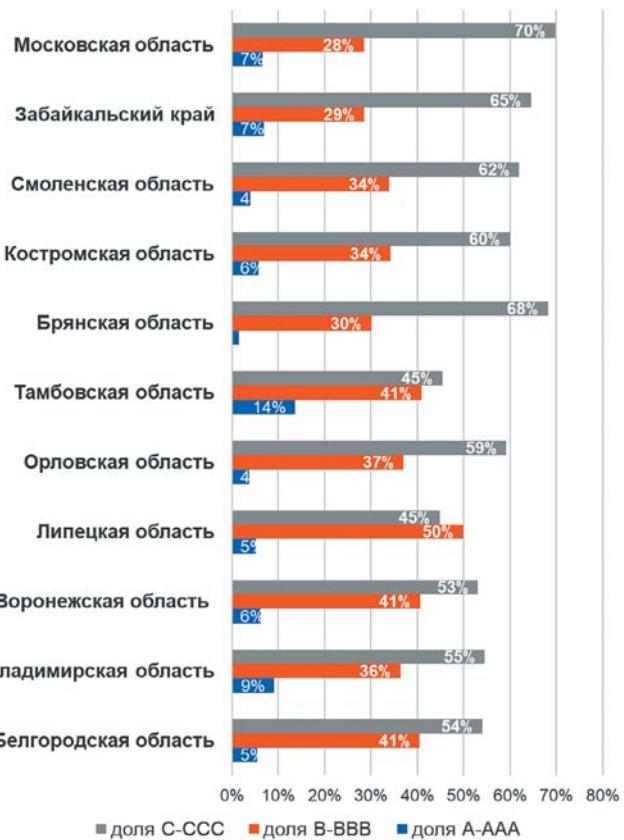


Рис. 3
ЭКГ-рейтинг субъектов РФ из числа внедряющих систему мотивации ответственного бизнеса, характеризующихся наибольшей долей предприятий по сектору «Добыча полезных ископаемых»

Составлено авторами по ЭКГ-рейтингу.
Режим доступа: <https://ekg-rating.ru/> (дата обращения: 01.07.2025).

Fig. 3
The EPS-rating of the Russian Federation entities implementing an system of incentives for responsible business that are characterized by the largest share of enterprises in the Mining Sector

Compiled by the authors using the EPS-rating. (In Russ.) Available at: <https://ekg-rating.ru/> (accessed: 01.07.2025).

Как видим, среднему уровню ЭКГ-рейтинга, как базовому для перехода в статус А – продвинутый, в рассматриваемых регионах соответствуют от 30 до 50% компаний сектора «Добыча полезных ископаемых». Это свидетельствует о необходимости разработки соответствующих стратегий данных компаний для развития и подтверждения более высокого уровня ответственности бизнеса.

Заключение

Разрабатываемая методология мониторинга индекса деловой репутации субъектов предпринимательской деятельности в отрасли добычи полезных ископаемых позволяет решать следующие актуальные для горного бизнеса задачи:

- разработка рекомендаций по единому локальному регулированию для группы компаний;
- проведение консультаций по совершенствованию действующего локального регулирования;
- предоставление услуг по оценке системы корпоративного управления и уровня социальной ответственности бизнеса;
- разработка рекомендаций по совершенствованию корпоративной культуры и мотивации сотрудников;
- разработка дорожной карты по внедрению ЭКГ-стратегии.

Горнодобывающие компании заинтересованы в развитии мониторинга ответственности ведения отраслевого бизнеса предприятий, так как они ищут новые подходы к обеспечению своей конкурентоспособности. Более того, корпоративное управление – это способ достижения цели совпадения интересов компаний с интересами общества и государства [3].

Для развертывания системы ЭКГ-мониторинга возможно использование специального математического аппарата. Группой авторов разработан алгоритм оценки приоритетности используемых групп ESG/ЭКГ-критериев с учетом особенностей экологической или социальной ситуации в регионе на основе матричного подхода. Это позволяет вы-

явить наиболее важные задачи для повышения ЭКГ-параметров компаний и улучшения в социально-экологической ситуации в регионах присутствия данных компаний [4].

Базу данных на основе ЭКГ-рейтинга следует учитывать для обеспечения выработки региональной и федеральной государственной политики и нормативно-правового регулирования в сфере защиты и поощрения капиталовложений, содействия реализации новых инвестиционных проектов, а также обеспечения реализации, мониторинга, нормативного и методического сопровождения национальных проектов, связанных с сектором экономики «Добыча полезных ископаемых».

Список литературы / References

1. Безсмертная Е.Р., Гончаренко Л.И., Грихутик Ю.А., Калинский О.И., Кириллова Н.В., Крутова Л.С. и др. *Ответственное ведение бизнеса: технологии, стратегии, векторы устойчивого развития*. М.: Дашков и К; 2024. 379 с.
2. Иватанова Н.П., Стоянова И.А. ESG-инвестирование – новый подход к устойчивому развитию арктических регионов России. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2021;(4):610–619.
Ivatanova N.P., Stoyanova I.A. ISG-investing – a new approach to the sustainable development of the arctic regions of Russia. *Izvestiya Tulskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2021;(4):610–619. (In Russ.)
3. Belyaeva I., Kharchilava K.P. Progress of the corporate governance practice in Russian state-owned companies. In: Aluchna M., Idowu S.O., Tkachenko I. (eds) *Corporate Governance in Central Europe and Russia. CSR, Sustainability, Ethics & Governance*. Springer, Cham; 2020, pp. 125–141. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39504-9_8
4. Петров И.В., Новоселова И.Ю. Механизм расчета ESG-рейтинга на примере компании с государственным участием АК «АЛРОСА» (ПАО). *Горный журнал*. 2024;(8):39–44. <https://doi.org/10.17580/gzh.2024.08.06>
Petrov I.V., Novoselova I.Yu. ESG score calculation procedure: A case-study of ALROSA company with state participation. *Gornyi Zhurnal*. 2024;(8):39–44. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2024.08.06>

Информация об авторах

Петров Иван Васильевич – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой логистики факультета экономики и бизнеса, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: IvVPetrov@fa.ru

Щербаченко Петр Сергеевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры корпоративных финансов и корпоративного управления, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-1101-1181>; e-mail: pshcherbachenko@fa.ru

Тихомиров Андрей Андреевич – аспирант, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация

Information about the authors

Ivan V. Petrov – Dr. Sci. (Econ.), Professor, Head of the Department of Logistics and Marketing, Faculty of Economics and Business, Financial University, Moscow, Russian Federation; e-mail: IvVPetrov@fa.ru

Petr S. Shcherbachenko – Cand. Sci. (Econ.) Associate Professor, Department of Corporate Finance and Corporate Governance, Financial University, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-1101-1181>; e-mail: pshcherbachenko@fa.ru

Andrey A. Tikhomirov – Postgraduate Student, Financial University, Moscow, Russian Federation

Article info

Received: 11.05.2025

Revised: 09.07.2025

Accepted: 17.07.2025

Информация о статье

Поступила в редакцию: 11.05.2025

Поступила после рецензирования: 09.07.2025

Принята к публикации: 17.07.2025

Комплексный подход к построению автоматизированной системы обработки больших данных о перевозочном процессе транспортных средств

Р.Н. Сафиуллин¹✉, М.С. Присяжнюк², А.С. Парра¹, Р.Р. Сафиуллин¹, А.А. Унгевук¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российской Федерации

² Комитет Ленинградской области по транспорту, г. Санкт-Петербург, Российской Федерации

✉ safravi@mail.ru

Резюме: В статье рассматриваются вопросы оценки эффективности грузовых перевозок карьерными автосамосвалами на основе применения автоматизированной системы алгоритма обработки больших данных, получаемых от датчиков и ГЛОНАСС/GPS-устройств на транспортных средствах в режиме реального времени. Предложены методы сокращения времени обработки данных и анализа в реальном времени, включающие в себя определение инфраструктуры распределённой обработки, алгоритмы оптимизации в реальном времени, а также методы машинного обучения для управления и анализа данных от датчиков, систем GPS и других интеллектуальных устройств в транспортных средствах. Разработанный алгоритм обработки больших данных перевозочного процесса учитывает сбор, хранение, анализ, визуализацию данных и структурную модель определения технических и эксплуатационных показателей эффективности транспортного процесса: время доставки, коэффициент загрузки транспортного средства, объем перевезенного груза, коэффициент использования пробега, расход топлива, время простоя и коэффициент технической готовности.

Ключевые слова: автоматизированная система, алгоритм обработки больших данных, оценка перевозочного процесса, карьерные автосамосвалы

Для цитирования: Сафиуллин Р.Н., Присяжнюк. М.С., Парра А.С., Сафиуллин Р.Р., Унгевук А.А. Комплексный подход к построению автоматизированной системы обработки больших данных о перевозочном процессе транспортных средств. *Горная промышленность*. 2025;(4):122–129. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-122-129>

An integrated approach to designing an automated processing system for Big Data on the haulage process by transport vehicles

R.N. Safiullin¹✉, M.S. Prisyazhnyuk², A.Z. Parra¹, R.R. Safiullin¹, A.A. Ungefuk¹

¹ Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation

² Leningrad Region Transport Committee, St. Petersburg, Russian Federation

✉ safravi@mail.ru

Abstract: The article discusses the issues of assessing the haulage efficiency by mining dump trucks using an algorithm for an automated system to process Big Data collected from sensors and GLONASS/GPS-based devices mounted on the vehicles in real time mode. Techniques are proposed to reduce the time required for on-line data processing and analysis, including the design of distributed processing infrastructure, real-time optimization algorithms, and machine learning methods for managing and analyzing the data from sensors, GPS systems and other intelligent devices of the vehicles. The developed algorithm to process Big Data of the haulage process takes into account the collection, storage, analysis, visualization of the data as well as a structural model for determining the technical and operational performance indicators of the haulage process, i.e. the delivery time, vehicle load factor, volume of cargo transported, mileage utilization factor, fuel consumption, idle time and availability factor.

Keywords: automated system, Big Data processing algorithm, assessment of the haulage process, mining dump trucks

For citation: Safiullin R.N., Prisyazhnyuk M.S., Parra A.S. Safiullin R.R., Ungefuk A.A. An integrated approach to designing an automated processing system for Big Data on the haulage process by transport vehicles. *Russian Mining Industry*. 2025;(4):122–129. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-122-129>

Введение

Быстрое развитие информационно-коммуникационных технологий позволило выявить значимость источников больших данных, таких как: смарт-карты, датчики, GPS/ГЛОНАСС-модули (данные о местоположении транспортных средств), модули отслеживания мобильных телефонов и социальные сети. Эти источники пришли на замену традиционным методам сбора данных, позволяя проводить более глубокий анализ транспортных процессов с использованием передовых методов прогнозной статистики.

Современные транспортные средства, перевозящие грузы, в том числе карьерные автосамосвалы, используют датчики для мониторинга в режиме реального времени следующих параметров: вес груза, расход топлива, время и место погрузки/разгрузки транспортного средства,

мгновенная скорость, характеристика водителя и работы двигателя, параметры перевозимых грузов. Сведения об эксплуатации содержат подробную информацию о совершенных поездках, включая идентификатор транспортного средства, дату, время, координаты и скорость[1].

Кроме того, благодаря внедрению телематических навигационных технологий в интеллектуальных транспортных системах растет объем больших данных о движении подключенных высокоматематизированных транспортных средств, которые генерируют большие объемы данных [2–4]. Полученная информация используется для оптимизации транспортного планирования [5; 6], оценки грузопотоков и изучения характеристик транспорта [7–9], выбора карьерных машин [10; 11], оценки эффективности транспортных средств для разработки месторождений полезных ископаемых в других регионах [12–14].

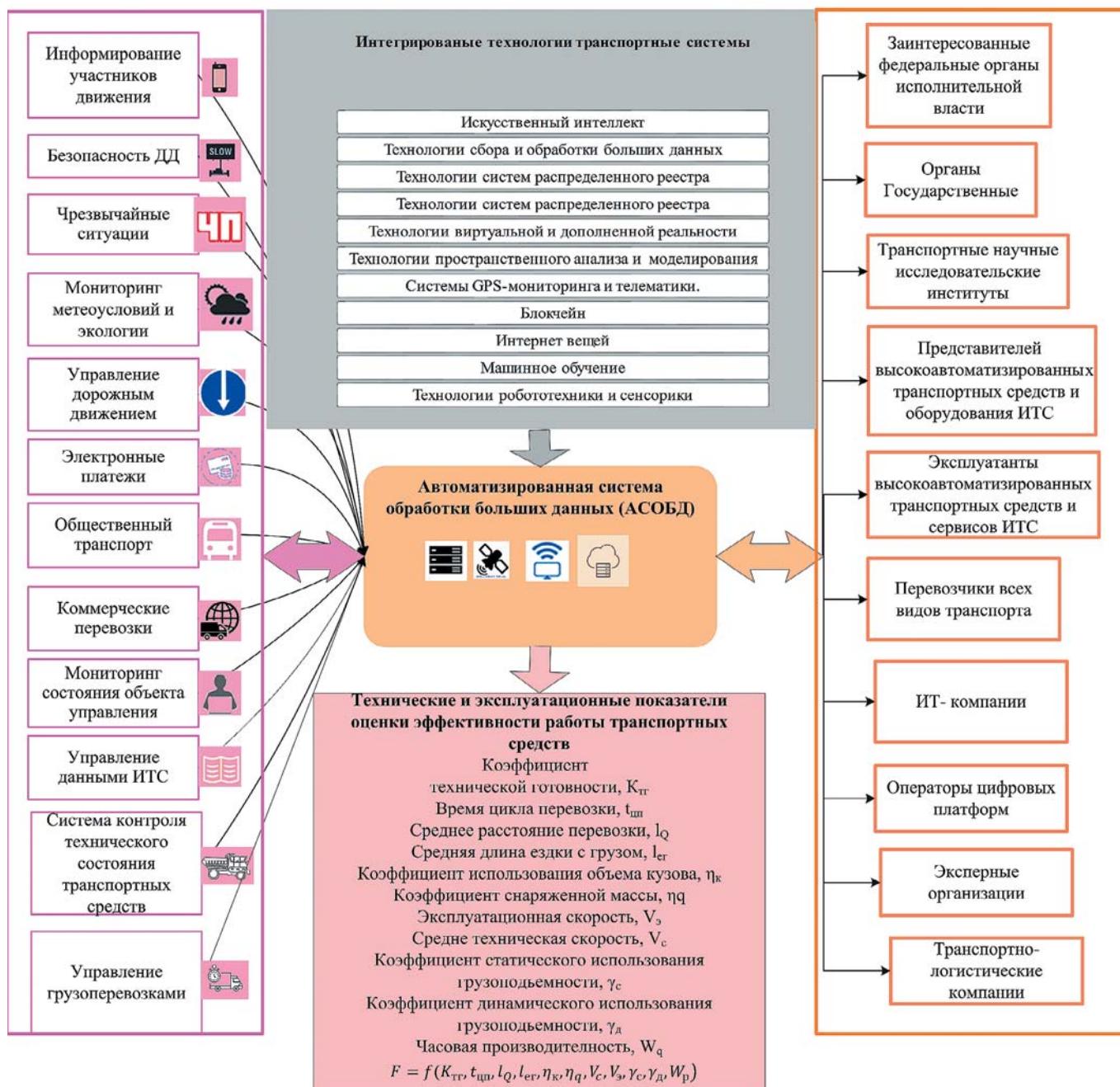


Рис. 1
Общая структура системы обработки больших объемов данных перевозочного процесса

Fig. 1
A general structure of the system for processing large volumes of data on the haulage process

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Digital technologies



Рис. 2
Функциональная архитектура анализа больших данных
перевозочного процесса

Технологии больших данных также применяются для решения оптимизационной задачи комплексного транспортного планирования, в частности: для оценки направлений грузопотоков[15], изучения характеристик грузовых перевозок, выбора транспортных средств и наземного горно-транспортного оборудования [16; 17], а также для оценки эффективности выполненной работы транспортными средствами с целью разработки месторождений полезных ископаемых в других регионах[14; 17–19]. Однако на данный момент не существует комплексного подхода, позволяющего решать эти вопросы полностью.

Методы и материалы

На основе результатов исследования предложена структурная модель получения информации о карьерных автосамосвалах и транспортной инфраструктуре в системе управления транспортом в карьерах. Система обработки больших объемов данных позволяет проводить комплексный анализ условий эксплуатации транспортных средств, своевременно выявлять отклонения и нарушения в работе узлов и агрегатов транспортных средств (рис. 2).

Архитектура платформы для обработки и анализа больших данных перевозочного процесса на основе машинного обучения позволяет решать задачи, представленные на рис. 2.

Для обработки большого объема данных, генерируемых датчиками транспортного средства, необходимо создать инфраструктуру распределенной обработки на основе платформ, таких как Apache Spark и Apache Hadoop. Инфраструктура включает в себя два компонента: кластер обработки и распределенное хранилище. Кластер обработки состоит из взаимосвязанных узлов, выполняющих задачи параллельно, что позволяет анализировать данные в режиме реального времени. С другой стороны, распределенное хранилище хранит исторические данные, которые будут использоваться в моделях прогнозирования (с помощью HDFS).

Fig. 2
The functional architecture of the Big Data analysis of the haulage process

Результаты

Алгоритм обработки и анализа больших объемов данных перевозочного процесса с интеллектуальными датчиками и спутниковой навигационной системы представлен ниже (рис. 3). В регистрационной базе данных не фиксируется направление движения транспортных средств, поэтому предлагается процесс адресной маркировки на основе таких критериев, как: разница во времени между регистрациями и время по расписанию. Полученные данные обрабатываются для определения типа перевозимого груза, а также анализируются схемы маршрутов (например: прямые маршруты, несколько прямых маршрутов и несколько загрузок/разгрузок). Необходимо группировать записи данных в соответствии с временным интервалом между ними, чтобы классифицировать перемещение транспортных средств в зависимости от пройденного расстояния, перевозимого груза и времени погрузки/разгрузки. Для этого можно использовать такие алгоритмы, как K-Means или DBSCAN [20, 21].

Запись идентификатора транспортного средства может классифицироваться по различным сценариям в зависимости от количества записей, даты и времени появления и т. д. (рис. 4). При разгрузке транспортного средства формируется важная информация о параметрах, происхождении и назначении перевозимых грузов. Для получения этой информации используются предположения и записи из базы данных. Записи данных считаются окончательными, если они соответствуют определенным критериям, например, имеют одинаковый идентификатор транспортного средства, разную дату регистрации и разный адрес. Записи, не отвечающие этим критериям, считаются несоответствующими.

Для определения места разгрузки применяются критерии отбора, основанные на теории цепочки поставок. Если нет совпадающих записей данных в один и тот же день, выбирается запись с транзакцией в пиковое время. Если совпадающих записей данных нет, выбирается запись с ближайшим к конечному пункту погрузки.

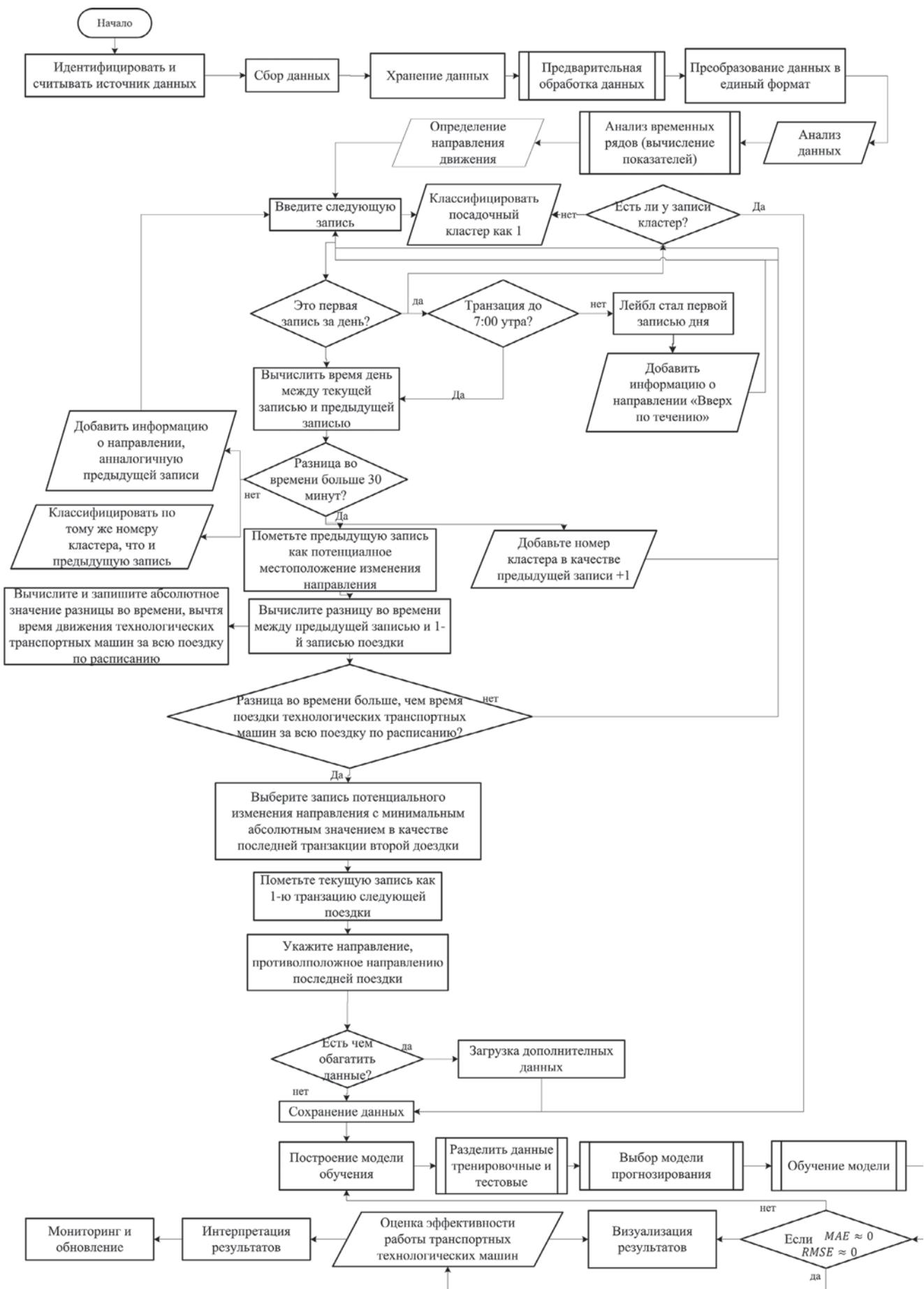


Рис. 3
Алгоритм обработки больших данных перевозочного процесса транспортных средств

Fig. 3
An algorithm to process Big Data of the haulage process by transport vehicles

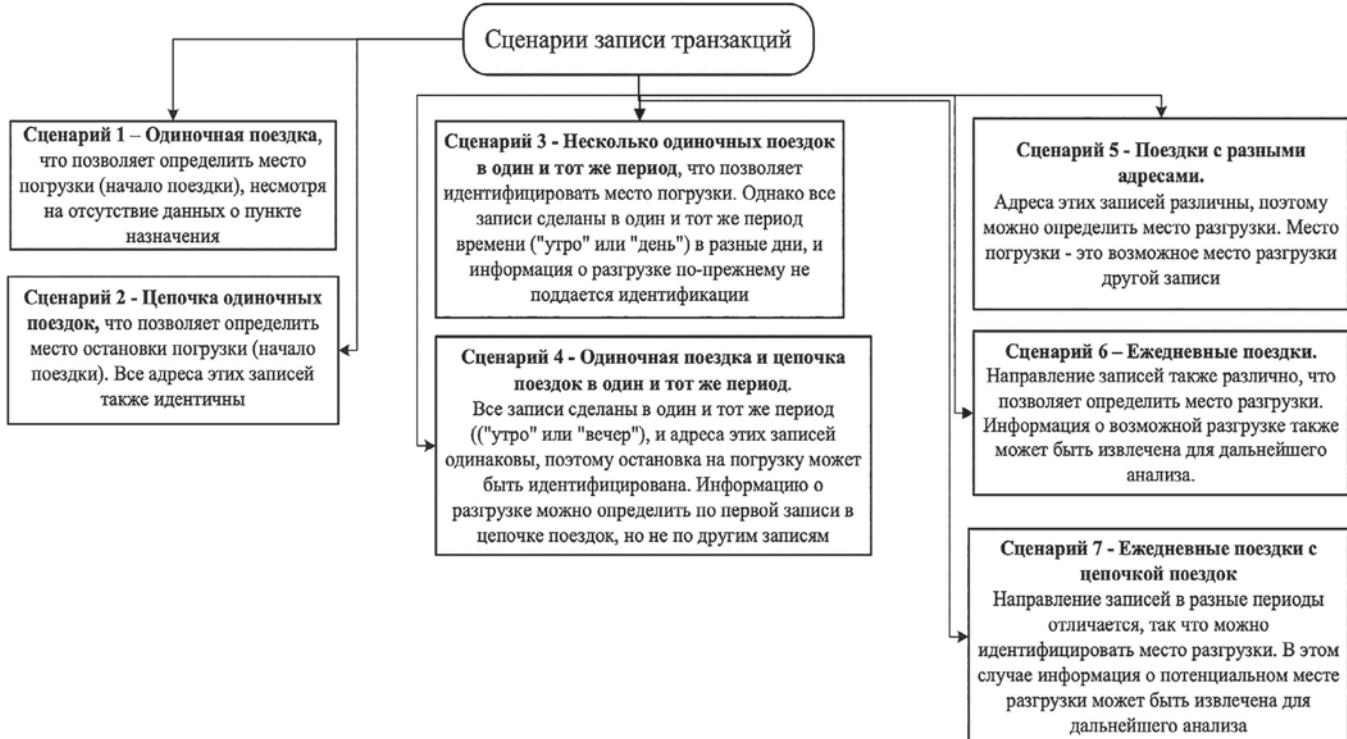


Рис. 4
Различные сценарии записи транзакций

Fig. 4
Various transaction logging scenarios

На этапе выделения признаков используется анализ временных рядов, который предполагает изучение закономерностей, тенденций и глубинной структуры данных для составления прогнозов или извлечения значимой информации, после чего данные разбиваются на две выборки: обучающую и тестовую. Для выявления и анализа частот можно использовать модель ARIMA и преобразование Фурье.

Общая формулировка модели ARIMA такова:

$$Y_t = \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \varphi_3 Y_{t-3} + \dots + \varphi_{p-t} + \\ + \alpha_t - \theta_1 \alpha_{t-1} - \theta_1 \alpha_{t-2} - \dots - \theta_q \alpha_{t-q}. \quad (1)$$

Преобразование Фурье определяется для вектора x с n точками, равномерно дискретизированными по

$$Y_{k+1} = \sum_{j=0}^{n-1} \omega^{jk} x_{j+1}, \quad (2)$$

$\omega = e^{-2\pi i/n}$ – один из n комплексных корней из единицы, где i – мнимая единица. Для x и y индексы j и k варьируются от 0 до $n - 1$.

При анализе временных рядов рассчитываются основные статистические показатели: среднее значение, медиана, moda, стандартное отклонение, дисперсия, максимальное и минимальное значения, а также квартильные значения. После того как направление движения и группы загрузок определены, включаются дополнительные данные для обучения модели. Затем определяется и строится модель машинного обучения. После обучения модели проводится оценка ее эффективности с целью проведения необходимых корректировок. Затем определяется и строится модель машинного обучения.

На этапе оценки модели используются метрики для измерения эффективности модели и последующей корректировки архитектуры или гиперпараметров по мере необходимости. Обычно используются следующие метрики:

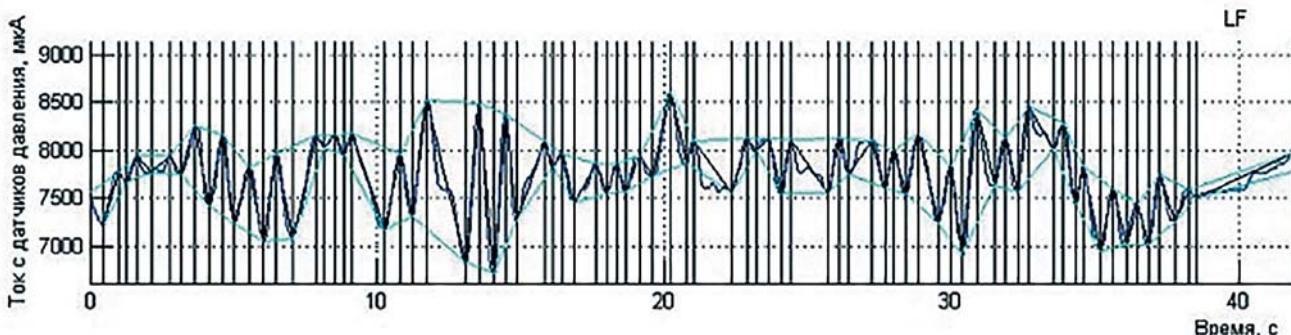


Рис. 5
Анализ изменения давления в цилиндре подвески карьерного автосамосвала

Fig. 5
Analysis of pressure changes in the suspension cylinder of a mining dump truck

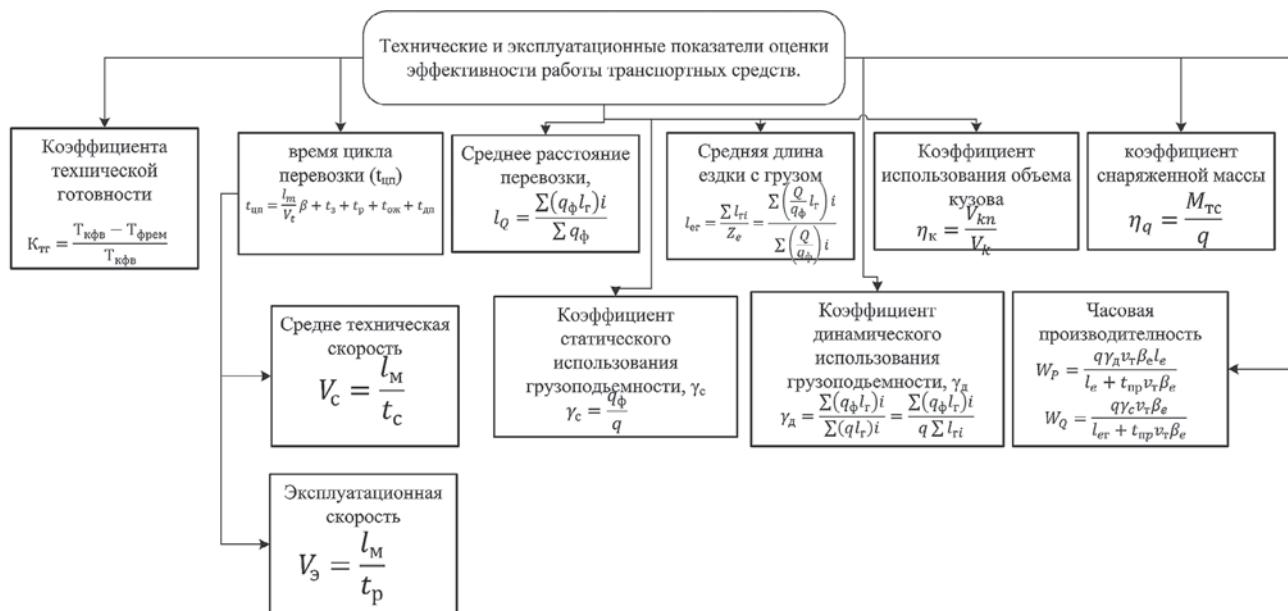


Рис. 6
Структурная модель определения технических и эксплуатационных показателей оценки эффективности работы транспортных средств

1 – средняя абсолютная ошибка (MAE) и 2 – среднеквадратичная ошибка (RMSE):

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{T=1}^N |Y_T - \tilde{Y}_T|; \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{T=1}^N (Y_T - \tilde{Y}_T)^2}, \quad (4)$$

где \tilde{Y}_T – прогнозируемое значение; Y_T – фактическое значение.

На основании полученных результатов в виде графиков и диаграмм (рис. 5) возможно анализировать эти данные и принимать обоснованные решения по повышению эффективности транспортных средств.

После оценки модели машинного обучения происходит ее внедрение, а также реализация системы контроля точности модели и ее периодического обновления новыми данными. Далее на основе полученных результатов оценивается эффективность перевозочного процесса с учетом технических и эксплуатационных показателей (рис. 6) [22, 23]:

$$F = f(K_{\text{тр}}, t_{\text{пп}}, l_Q, l_{\text{ер}}, \eta_k, \eta_q, V_c, V_{\text{пп}}, \gamma_c, \gamma_d, W_p). \quad (5)$$

В завершение проводится сравнение полученных результатов с установленными стандартами. На основе этих результатов даются рекомендации по улучшению эксплуатации транспортных средств. Данные и показатели постоянно отслеживаются и пересматриваются для улучшения прогнозирования и анализа.

Fig. 6
A structural model for determining the technical and operational indicators for assessing the performance of vehicles

Заключение

Таким образом, разработанные методы позволяют быстро и эффективно управлять карьерными самосвалами на основе алгоритма, разработанного для построения автоматизированной системы обработки больших объемов данных, получаемых от датчиков и устройств ГЛОНАСС/GPS в режиме реального времени, предназначенного для оценки эффективности перевозок на карьерных самосвалах с помощью интеграции методов сокращения данных и анализа в реальном времени, сочетающей в себе алгоритмы оптимизации, распределенной обработки и машинного обучения. Предложены структура модели для обработки больших объемов данных в процессе перевозки, включая: информацию о местоположении, состоянии карьерных самосвалов, загрузке, скорости движения, расходе топлива, качестве вождения и характеристиках дорог, а также структурная модель для определения технических и эксплуатационных показателей, необходимых для оценки транспортного процесса: время доставки, загрузка транспортного средства, объем перевезенного груза, коэффициент использования пробега, расход топлива, время цикла погрузки/разгрузки, время простоя и коэффициент технической готовности. Эта система может быть адаптирована к другим видам транспорта, таким как коммерческие автопарки или системы общественного транспорта, где анализ в режиме реального времени и оптимизация маршрутов необходимы для повышения качества обслуживания и пунктуальности.

Список литературы / References

1. Fernandes A.X., Guimarães P., Santos M.Y. Big Data analytics for vehicle multisensory anomalies detection. *Procedia Computer Science*. 2022;204:817–824. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.08.099>
2. Nuzzolo A., Comi A., Polimeni A. Urban freight vehicle flows: an analysis of freight delivery patterns through floating car data. *Transportation Research Procedia*. 2020;47:409–416. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.116>

3. Гендлер С.Г., Степанцова А.Ю., Попов М.М. Обоснование безопасной эксплуатации закрытого угольного склада по газовому фактору. *Записки Горного института*. 2024:1–11. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16519> (дата обращения: 12.11.2024).
Gendler S.G., Stepantsova A.Y., Popov M.M. Justification on the safe exploitation of closed coal warehouse by gas factor. *Journal of Mining Institute*. 2024:1–11. Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16519> (accessed: 12.11.2024).
4. R. N. Safiullin, R. R. Safiullin, K. V. Sorokin [et al.] Integral Assessment of Influence Mechanism of Heavy Particle Generator on Hydrocarbon Composition of Vehicles Motor Fuel / R. N. Safiullin, R. R. Safiullin, K. V. Sorokin [et al.] // International Journal of Engineering. – 2024. – Vol. 37, No. 8. – P. 1700-1706. – DOI 10.5829/ije.2024.37.08b.20. – EDN NHRCBX.
5. Tian, H. Integral Evaluation of Implementation Efficiency of Automated Hardware Complex for Vehicle Traffic Control / H. Tian, R. N. Safiullin, R. R. Safiullin // International Journal of Engineering. – 2024. – Vol. 37, No. 8. – P. 1534-1546. – DOI 10.5829/ije.2024.37.08b.07. – EDN PVMCUB.
6. Жуковский Ю.Л., Сусликов П.К. Оценка потенциального эффекта применения технологии управления спросом на горных предприятиях. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2024;16(3):895–908. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-3-895-908>
Zhukovsky Yu.L., Suslikov P.K. Assessment of the potential effect of applying demand management technology at mining enterprises. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2024;16(3):895–908. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-3-895-908>
7. Sahin O., Stinson M., Ismael A., Shen H. Analysis of urban freight flows and retail goods movement using GPS trajectory and land use data. *Procedia Computer Science*. 2024;238:809–814. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.06.096>
8. Габдулхаков Р.Р., Говкелевич К.Ю., Рудко В.А., Пягай И.Н. Метод повышения детонационной стойкости автомобильного бензина на основе компонента, полученного в процессе производства игольчатого кокса. *Горная промышленность*. 2025;(1S):21–27. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1S-21-27>.
R.R. Gabdulkhakov, K.Yu. Govkelevich, V.A. Rudko, I.N. Pyagayn A process to increase the detonation resistance of motor gasoline using a component obtained during needle coke production. *Russian Mining Industry*. 2025;(1S):21–27. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1S-21-27>
9. Мякотных А.А., Иванова П.В., Иванов С.Л. К вопросу классификации комплексов добычи торфяного сырья. *Горная промышленность*. 2023;(6):137–142. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-137-142>
Myakotnykh A.A., Ivanova P.V., Ivanov S.L. On classification of peat extraction complexes. *Russian Mining Industry*. 2023;(6):137–142. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-137-142>
10. Barjoe S.S., Rodionov V.A. Respirable dust in ceramic industries (Iran) and its health risk assessment using deterministic and probabilistic approaches. *Pollution*. 2024;10(4):1206–1226. <https://doi.org/10.22059/poll.2024.376043.2360>
11. Emelyanov A.A., Avksentieva E.Yu., Avksentiev S.Yu., Zhukov N.N. Applying neurointerface for provision of information security. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 2019;8(6):3277–3281. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2019/97862019>
12. Tarazona-Torre L., Amaya C., Paipilla A., Gomez C., Alvarez-Martinez D. The parallel machine scheduling problem with different speeds and release times in the ore hauling operation. *Algorithms*. 2024;17(8):348. <https://doi.org/10.3390/a17080348>
13. Великанов В.С. Прогнозирование нагруженности рабочего оборудования карьерного экскаватора по нечетко-логистической модели. *Записки Горного института*. 2020;241:29–36. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.1.29>
Velikanov V.S. Mining excavator working equipment load forecasting according to a fuzzy-logistic model. *Journal of Mining Institute*. 2020;241:29–36. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.1.29>
14. Semenova T., Martínez Santoyo J.Y. Increasing the sustainability of the strategic development of oil producing companies in Mexico. *Resources*. 2024;13(8):108. <https://doi.org/10.3390/resources13080108>
15. Мустафаев А.С., Сухомлинов В.С., Бажин В.Ю., Буковецкий Н.А., Суров А.В. Плазменная технология получения сверхчистого корунда. *Цветные металлы*. 2024;(4):21–29. <https://doi.org/10.17580/tsm.2024.04.03>
Mustafaev A.S., Sukhomlinov V.S., Bazhin V.Yu., Bukovetskiy N.A., Surov A.V. Plasma technology for producing ultrapure corundum. *Tsvetnye Metally*. 2024;(4):21–29. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/tsm.2024.04.03>
16. Курганов В.М., Грязнов М.В., Колобанов С.В. Оценка надежности функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов в карьере. *Записки Горного института*. 2020;241:10–21. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.1.10>
Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Kolobanov S.V. Assessment of operational reliability of quarry excavator-dump truck complexes. *Journal of Mining Institute*. 2020;241:10–21. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.1.10>
17. Kuznetsov D., Kosolapov A. Dynamic of performance of open-pit dump trucks in ore mining in severe climatic environment. *Transportation Research Procedia*. 2022;63:1042–1048. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.104>
18. Салимов А.Э., Шибанов Д.А., Иванов С.Л. Риски отказов карьерного экскаватора, связанные с его техническим обслуживанием и ремонтом. *Горная промышленность*. 2024;(2):97–102. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-2-97-102>
Salimov A.E., Shibanov D.A., Ivanov S.L. Failure risks of mine excavator associated with its maintenance and repair. *Russian Mining Industry*. 2024;(2):97–102. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-2-97-102>

19. Barjoe S.S., Rodionov V., Vaziri Sereshk A.M. Noise climate assessment in ceramic industries (Iran) using acoustic indices and its control solutions. *Advances in Environmental Technology*. 2025;11(1):91–115. <https://doi.org/10.22104/aet.2024.6922.1899>
20. Ikotun A.M., Ezugwu A.E., Abualigah L., Abuhaiba B., Heming J. K-means clustering algorithms: A comprehensive review, variants analysis, and advances in the era of big data. *Information Sciences*. 2023;622:178–210. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.11.139>
21. Кортев А.Л., Хасцаев Б.Д., Кортев А.А. Метод мониторинга и достоверного прогнозирования возникновения оползней дорог на основе цифрового устройства. *Горная промышленность*. 2025;(1S):47–54. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1S-47-54>.
22. Kortev A.L., Khastaev B.D., Kortev A.A. A method to monitor and reliably predict emergence of road landslides using a digital device. *Russian Mining Industry*. 2025;(1S):47–54.
23. Saifiullin R, Arias Z. Comprehensive Assessment of the Effectiveness of Passenger Transportation Processes using Intelligent Technologies . Open Transp J, 2024; 18: e26671212320514. <http://dx.doi.org/10.2174/0126671212320514240611100437>
24. Сафиуллин Р.Р., Симонова Л.А. Научные основы повышения эффективности внедрения интегрированных интеллектуальных технологий в транспортно-технологический процесс доставки грузов. *Горная промышленность*. 2025;(1S):55–61. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1S-55-61>
25. Saifiullin R.R., Simonova L.A. Scientific foundations for increasing the efficiency of the implementation of integrated intelligent technologies in the transport and technological process of cargo delivery. *Russian Mining industry*. 2025;(1S):55–61. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1S-55-61>

Информация об авторах

Сафиуллин Равил Нуруллович – доктор технических наук, профессор кафедры транспортно-технологических процессов и машин, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-8765-6461>; e-mail: safravi@mail.ru

Присяжнюк Михаил Сергеевич – кандидат технических наук, Председатель Комитета Ленинградской области по транспорту, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: transportlo@lenreg.ru

Парра Ариас Сунильда – аспирант кафедры транспортно-технологических процессов и машин, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-1715-7998>; email: zuny1503@gmail.com

Сафиуллин Руслан Равиллович – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических процессов и машин, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-2315-3678>; e-mail: safiyllin@yandex.ru

Унгевук Александр Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических процессов и машин, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-1473-9095>; e-mail: ungefuk_alex@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 16.04.2025
Поступила после рецензирования: 05.06.2025
Принята к публикации: 16.06.2025

Information about the authors

Ravill N. Saifiullin – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Transport and Technological Processes and Machines, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-8765-6461>; e-mail: safravi@mail.ru

Michael S. Prisyazhnyuk – Cand. Sci. (Eng.), Chairman of the Leningrad Region Transport Committee, St. Petersburg, Russian Federation; e-mail: transportlo@lenreg.ru

Arias Zunilda Parra – Postgraduate Student of the Department of Transport and Technological Processes and Machines, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-1715-7998>; email: zuny1503@gmail.com

Ruslan R. Saifiullin – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Processes and Machines, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-2315-3678>; e-mail: safiyllin@yandex.ru

Aleksandr A. Ungefuk – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Processes and Machines, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-1473-9095>; e-mail: ungefuk_alex@mail.ru

Article info

Received: 16.04.2025
Revised: 05.06.2025
Accepted: 16.06.2025

Использование частичной теплоизоляции камеры сгорания с целью повышения эксплуатационных характеристик дизельных двигателей, применяемых в горнодобывающей промышленности

A.M. Балашов ✉

Новосибирский государственный педагогический университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

✉ Ltha1@yandex.ru

Резюме: В настоящее время дизельные двигатели остаются одними из наиболее востребованных силовых агрегатов благодаря своей высокой топливной экономичности и надежности. Однако существует ряд проблем, связанных с тепловыми потерями, снижающими общий КПД двигателей внутреннего сгорания. В данной статье рассмотрено и проанализировано влияние частичной теплоизоляции камеры сгорания на процессы сгорания топлива и основные характеристики дизельных двигателей. На основе проведенного анализа можно заключить, что основные достоинства двигателей с частичной теплоизоляцией камеры сгорания – это улучшение процессов сгорания топлива, повышение топливной экономичности и улучшение пусковых качеств. Однако их широкое распространение на данный момент сдерживается вследствие большей стоимости и невысокой надежности материалов теплоизоляции, а также недостаточностью исследования рабочих процессов и влияния на них различных конструктивных, режимных и регулировочных факторов. Автором сделаны выводы о перспективах практического использования полученных рекомендаций и возможных направлениях дальнейших исследований.

Ключевые слова: теплоизоляция, дизельный двигатель, поршень, процессы сгорания, тепловые потери

Для цитирования: Балашов А.М. Использование частичной теплоизоляции камеры сгорания с целью повышения эксплуатационных характеристик дизельных двигателей, применяемых в горнодобывающей промышленности. *Горная промышленность*. 2025;(4):130–133. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-130-133>

The use of partial thermal insulation of the combustion chamber in order to improve the performance of diesel engines used in the mining industry

A.M. Balashov ✉

Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russian Federation

✉ Ltha1@yandex.ru

Abstract: Diesel engines currently remain one of the most sought-after powertrains due to their high fuel efficiency and reliability. However, there is a number of problems associated with heat losses that reduce the overall efficiency of internal combustion engines. This article examines and analyzes the effect of partial thermal insulation of the combustion chamber on the fuel combustion processes and the main characteristics of diesel engines. Based on the analysis performed, it can be concluded that the main advantages of the engines with partial thermal insulation of the combustion chamber are enhancement of the fuel combustion processes, increased fuel efficiency and improved engine start-up properties. However, their widespread use is currently restricted by the high cost and low reliability of thermal insulation materials, as well as insufficient research into their operating processes and the influence of various design, operational and regulatory factors. The author makes conclusions on the prospects for practical application of the recommendations provided and possible directions for further research.

Keywords: thermal insulation, diesel engine, piston, combustion processes, heat losses

For citation: Balashov A.M. The use of partial thermal insulation of the combustion chamber in order to improve the performance of diesel engines used in the mining industry. *Russian Mining Industry*. 2025;(4):130–133. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-130-133>

Введение

В настоящее время дизельные двигатели остаются одними из наиболее востребованных силовых агрегатов благодаря своей высокой топливной экономичности и надежности. Данные двигатели широко применяются для привода горнодобывающей, дорожно-строительной техники и различного технологического оборудования. Однако существует ряд проблем, связанных с тепловыми потерями, снижающими общий КПД двигателей внутреннего сгорания. По данным работы [1] около 25% тепловой энергии, выделяющейся при сгорании топлива в дизельном двигателе, теряется в системе охлаждения. Из-за таких значительных тепловых потерь снижается КПД и увеличивается удельный расход топлива, а также требуется наличие развитой системы охлаждения, на функционирование которой затрачивается определенная мощность. Следовательно, резервы снижения тепловых потерь и повышения КПД у современных дизельных двигателей имеются.

В связи с этим в двигателестроении рассматривается множество различных способов повышения эффективности ДВС [2]. Например, ведущими моторостроительными компаниями многих стран мира проводятся исследовательские работы по уменьшению отвода тепла в охлаждающую жидкость (систему охлаждения). Одним из перспективных направлений повышения эффективности является использование теплоизоляционных материалов внутри камеры сгорания дизельных моторов. Такие возможности появились в последнее время благодаря успехам в создании новых конструкционных и теплоизоляционных материалов, в том числе и на керамической основе. В связи с вышеизложенным проблемы дальнейшего совершенствования дизельных двигателей в настоящее время являются весьма актуальными.

Результаты

Одним из перспективных направлений улучшения показателей топливной экономичности дизелей является применение частичной теплоизоляции камеры сгорания, реализация которой позволяет улучшить рабочий процесс и тем самым повысить эффективные и экологические показатели двигателя. В связи с широким распространением дизельных двигателей успешное решение данных задач может дать существенный эффект в сфере ресурсосбережения и повышения технико-экономической эффективности.

Частичная теплоизоляция предполагает нанесение специальных покрытий или установку термоизоляционных вставок непосредственно на поверхности камеры сгорания – днище поршня, стенки цилиндра и головку блока цилиндров. Основная суть данного метода состоит в следующем: традиционные дизельные двигатели характеризуются значительным теплообменом между горячими продуктами сгорания и стенками камеры сгорания, и этот теплообмен приводит к потерям тепла, снижению температуры и давления в конце процесса сгорания, а также к ухудшению эффективности [3]. Частичная теплоизоляция камеры сгорания направлена на уменьшение этих потерь, с сохранением при этом возможности эффективного охлаждения деталей двигателя. Основная цель такой модификации заключается в снижении потерь тепла от рабочего тела в охлаждающую жидкость и окружающую среду, что позволяет повысить эффективность преобразования тепловой энергии топлива в механическую работу.

Для теплоизоляции камеры сгорания существуют различные способы, в частности, использование различных

теплоизолирующих накладок. Например, в работе [4] для теплоизоляции центральной части днища поршня применяется керамическая накладка, которая изготовлена в виде перевернутого конуса. При этом избыточное напряжение, действующее на керамическую накладку, частично поглощается слоем волокнистого металла, находящегося между вкладышем и поршнем [4].

Известен также способ теплоизоляции днища поршня посредством механического соединения между керамическим вкладышем и поршнем [5]. Поршни большинства дизельных двигателей в настоящее время изготавливают из алюминиевых сплавов. В таком случае механическое соединение осуществляется заполнением пор, имеющихся в керамической части, материалом поршня, происходящим в процессе формовки с подпрессовкой. Несмотря на привлекательность вышеперечисленных способов изготовление таких поршней имеет значительную трудоемкость [6]. Известны и другие способы теплоизоляции камер сгорания ДВС.

Помимо требуемых теплофизических характеристик, теплоизоляционные материалы должны обладать достаточной прочностью при рабочих температурах, жаростойкостью, износостойчивостью, долговечностью, хорошей адгезией с основным материалом и невысоким коэффициентом линейного расширения. Кроме того, материалы должны быть устойчивы к химическим воздействиям продуктов сгорания топлива, а также сохранять свои свойства при многократных циклах нагрева и охлаждения. Полностью всем вышеперечисленным требованиям не может удовлетворить ни один из существующих материалов, поэтому необходим подбор материала с наиболее оптимальным сочетанием свойств и характеристик.

В целом, использование частичной теплоизоляции камеры сгорания в дизельных двигателях – это перспективный подход, направленный на улучшение их технико-экономических параметров. Основные преимущества частичной теплоизоляции камеры сгорания:

1. Снижение тепловых потерь в стенки: изоляция позволяет уменьшить количество тепла, уходящего через стенки камеры сгорания (поршень, головка блока цилиндров, цилиндр), тем самым повышая термический КПД двигателя.
2. Увеличение температуры газов в цилиндре: более высокая температура газов способствует болееному сгоранию топлива и увеличению давления в цилиндре, что приводит к увеличению мощности и снижению удельного расхода топлива.
3. Снижение выбросов вредных веществ: более полное сгорание может способствовать снижению выбросов оксида углерода CO, углеводородов и сажи. В то же время из-за большей температуры в цилиндре может увеличиваться количество выбросов оксидов азота NOx, которые тоже относятся к вредным загрязняющим веществам.
4. Ускорение прогрева двигателя: в условиях холодного запуска теплоизолированные участки камеры сгорания помогут быстрее достичь рабочей температуры, что снижает износ и выбросы на ранних этапах работы.
5. Возможность использования дизельных топлив с более низким цетановым числом: повышенная температура в цилиндре может позволить использовать топливо более низкого качества, что также будет способствовать снижению затрат на топливо.

Таблица 1

Эффективные показатели исследуемых дизельных двигателей на различных режимах работы

Table 1

Effective indicators of the studied diesel engines at different operating modes

Частота вращения коленчатого вала n , об/мин	Дизель 14 12/9,6 (базовый вариант)			Дизель 14 12/9,6 (вариант с теплоизолирующей втулкой)		
	Эффективная мощность N_e	Коэффициент избытка воздуха α_v	Удельный расход топлива g_e	Эффективная мощность N_e	Коэффициент избытка воздуха α_v	Удельный расход топлива g_e
1500	4,73	2,24	209	4,85	1,76	204
2800	8,0	1,5	230	8,23	1,36	224

Источник: [7, табл. 1].
Source: [7, Table 1].

Наличие сильно нагретых поверхностей в камере сгорания способствует повышению температуры воздушного заряда в конце такта сжатия и, следовательно, сокращению периода задержки самовоспламенения топлива. Это, с одной стороны, способствует улучшению пусковых качеств дизеля (что очень важно для двигателей, используемых в условиях Сибири и Крайнего Севера, где находится большое число российских горнодобывающих предприятий), а с другой стороны, для достижения большей эффективности сгорания топлива требует изменения параметров рабочего процесса двигателя. К параметрам, влияющим на процесс сгорания топлива, относятся угол опережения подачи топлива, давление впрыска, тонкость распыла топлива, конструктивные особенности форсунок и другие. Эти особенности необходимо учитывать при исследовании характеристик и оптимизации параметров конструкции таких ДВС.

Несмотря на очевидные преимущества внедрение теплоизоляции сопряжено с рядом сложностей и рисков:

1. Высокий уровень сложности производства и установки качественных теплоизолирующих элементов требует значительных финансовых вложений и увеличивает трудоемкость изготовления.
2. Необходимость тщательной проверки совместимости используемых материалов с материалами конструкции двигателя.
3. Сложность обеспечения надежной адгезии: обеспечение хорошего сцепления теплоизоляционного материала с металлической основой является сложной задачей, особенно при действии высоких температур и вибрациях.
4. Возникновение локальных перегревов и деформаций отдельных элементов, что может привести к ускоренному износу и выходу из строя узлов и механизмов.
5. Необходимость оптимизации геометрии и расположения теплоизоляции: эффективность теплоизоляции зависит от геометрии и расположения изоляционных материалов. Требуется тщательная оптимизация.
6. Сложность выбора оптимального материала: подбор материала с учетом удовлетворения всем основным требованиям и условиям эксплуатации является сложной инженерной задачей.
7. Потенциальное увеличение выбросов оксидов азота NO_x : более высокая температура в цилиндрах двигателя может способствовать образованию оксидов азота NO_x , которые являются вредными загрязняющими веществами. В этом случае возникает необходимость введения дополнительных мер для снижения выбросов NO_x , что ведет к усложнению конструкции двигателя.

В качестве подтверждения вышеизложенного можно привести результаты экспериментальных исследований

особенностей рабочего процесса базового двигателя и его модификации с установленными керамическими вставками на поршне и гильзе цилиндра для частичной изоляции камеры сгорания, проведенные авторами работы [7]. Исследования произведены на специально изготовленном одноцилиндровом четырехтактном дизеле 14 12/9,6, поршневая группа которого была заимствована у тракторного двигателя СМД-14. Сравнительные результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 1.

Как видно из таблицы сравнительных экспериментальных исследований, использование частичной теплоизоляции обеспечивает на номинальной частоте вращения повышение эффективной мощности на 2,9% и снижение удельного расхода топлива на 2,6%. Аналогичная картина наблюдается и при работе на частичных режимах, например, при частоте вращения $n = 1500$ об/мин это тоже способствует улучшению данных показателей и позволяет повысить эффективную мощность двигателя почти на 3% и снизить удельный расход топлива тоже на 2,6%.

Следовательно, повышение температуры газов в цилиндре, вызванное теплоизолирующей вставкой, повышает полноту сгорания топлива, тем самым увеличивая эффективный КПД двигателя [7]. В то же время данные результаты достигаются только при определенных регулировочных, конструктивных и других параметрах. Поэтому текущие инженерные подходы должны быть нацелены на поиск оптимальных значений для конструктивных, режимных и регулировочных параметров двигателей с теплоизоляцией камер сгорания.

Кроме того, согласно данным табл. 1 в варианте двигателя с теплоизоляцией происходит снижение коэффициента избытка воздуха, и особенно заметно это на частичных режимах работы. Это объясняется небольшим повышением температуры на такте впуска из-за наличия более горячих поверхностей в камере сгорания, что несколько ухудшает наполнение цилиндра воздухом.

Значительные величины удельного расхода топлива (см. табл. 1) для базового варианта дизеля и дизеля с теплоизоляцией объясняются тем, что для экспериментальных исследований использовался одноцилиндровый вариант дизельного двигателя, поршневая группа которого имеет разделенную (вихревую) камеру сгорания [8]. При этом наличие дополнительной камеры приводит к добавочным потерям при перетекании воздуха из дополнительной камеры сгорания в основную и при истечении продуктов сгорания. Возникающие при этом гидравлические и тепловые потери повышают удельный расход топлива на 15...20% [9]. В связи с этим в настоящее время более широкое распространение получили, в том числе и в горнодобывающей промышленности, дизельные двигатели с полуразделенной камерой сгорания, которые характеризуются меньшим удельным расходом топлива. Поэтому дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку оптимальных

конструктивных решений по частичной теплоизоляции, а также на изучение влияния ее на технико-экономические показатели дизельных двигателей такого типа.

Заключение

Частичная теплоизоляция камеры сгорания дизельных двигателей – это многообещающий метод повышения их технико-экономических характеристик. Однако его внедрение требует комплексного подхода, учитывающего выбор подходящих материалов, обеспечение надежности конструкции, оптимизацию параметров и управление выбросами. Развитие новых материалов, совершенствование технологий нанесения покрытий и оптимизация конструкций позволят в будущем более широко применять этот подход.

На основе проведенного анализа можно заключить, что

основные достоинства двигателей с частичной теплоизоляцией камеры сгорания – это улучшение процессов сгорания топлива, повышение топливной экономичности и улучшение пусковых качеств. Однако их широкое распространение на данный момент сдерживается вследствие большей стоимости и невысокой надежности материалов теплоизоляции, а также недостаточностью исследования рабочих процессов и влияния на них различных конструктивных, режимных и регулировочных факторов. В связи с перспективностью данного направления совершенствования ДВС дальнейшее направление работы может быть связано с экспериментальными исследованиями характеристик современных дизельных двигателей с полуразделенными камерами сгорания при оснащении их теплоизолирующими элементами.

Список литературы / References

1. Закалин Е.Н., Русин А.П. Улучшение процесса сгорания топливной смеси в дизеле с ограниченным теплоотводом. *Вестник Донского государственного технического университета*. 2009;(S1):130–134.
Zakalin E.N., Rusin A.P. Improvement of process of combustion of the fuel mix in the diesel engine with the limited heat-conducting pat. *Vestnik of Don State Technical University*. 2009;(S1):130–134. (In Russ.)
2. Фомин В.М. Пути совершенствования эколого-экономических показателей дизелей. В кн.: Тер-Мкртичян Г.Г. (ред.) *Автомобильные и тракторные двигатели: межвуз. сб. науч. тр.* Вып. 16. М.: Азбука; 1999. С. 23.
3. Балашов А.М. Влияние частичной теплоизоляции камеры сгорания на основные технико-экономические параметры дизельного двигателя. *Тенденции развития науки и образования*. 2021;(74-8):152–154. <https://doi.org/10.18411/lj-06-2021-331>
Balashov A.M. The influence of partial thermal insulation of the combustion chamber on the main technical and economic parameters of a diesel engine. *Tendentsii Razvitiya Nauki i Obrazovaniya*. 2021;(74-8):152–154. (In Russ.) <https://doi.org/10.18411/lj-06-2021-331>
4. Mitchell H.R., Rice H.H. *Ceramic insulated engine pistons*. United States Patent No. US4245611A. Jan. 20, 1981. Available at: <https://patents.google.com/patent/US4245611A/en> (accessed: 23.02.2025).
5. Mahrus D., Afonso A. *Piston*. United States Patent No. US4735128A. Apr. 5, 1988. Available at: <https://patents.google.com/patent/US4735128A/en> (accessed: 23.02.2025).
6. Меркулов С.Б. Способ теплоизоляции рабочей поверхности поршня двигателя внутреннего сгорания. Патент Российской Федерации №RU2054129C1. 13 июня 1991. Режим доступа <https://patents.google.com/patent/RU2054129C1/ru> (дата обращения: 23.02.2025).
7. Кавтарадзе Р.З., Онищенко Д.О., Зеленцов А.А., Кадыров С.М., Арипджанов М.М. Расчетно-экспериментальное исследование влияния теплоизоляции поршня и гильзы на образование оксидов азота в продуктах сгорания быстроходного дизеля. *Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение*. 2011;(4):83–102.
Kavtaradze R.Z., Onishchenko D.O., Zelentsov A.A., Kadyrov S.M., Aripdzhanyan M.M. Computational and experimental study of influence of piston's and sleeve's thermal insulation on formation of nitrogen oxides in combustion products of high-speed diesel. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering*. 2011;(4):83–102. (In Russ.)
8. Раннев А.В. *Двигатели внутреннего сгорания строительных и дорожных машин*. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа; 1977. 352 с.
9. Кавтарадзе Р.З. *Теория поршневых двигателей: специальные главы*. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана; 2008. 720 с.

Информация об авторе

Балашов Алексей Михайлович – кандидат экономических наук, доцент кафедры информационных систем и цифрового образования, Новосибирский государственный педагогический университет, г. Новосибирск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-4264-2592>; e-mail: Ltha1@yandex.ru

Information about the author

Aleksey M. Balashov – Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor of the Department Information Systems and Digital Education, Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-4264-2592>; e-mail: Ltha1@yandex.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 22.05.2025
Поступила после рецензирования: 10.06.2025
Принята к публикации: 17.06.2025

Article info

Received: 22.05.2025
Revised: 10.06.2025
Accepted: 17.06.2025

Экономико-математическое моделирование добывающей отрасли Республики Саха (Якутия): оценка эффективности использования ресурсов

В.В. Никифорова¹✉, Е.Э. Григорьева¹, М.П. Соломонов²

¹Научно-исследовательский институт региональной экономики Севера Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация

²Федеральный исследовательский центр Якутского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск, Российская Федерация

✉ nikvalentina2010@yandex.ru

Резюме: Авторами проведено экономико-математическое моделирование влияния добывающей промышленности на социально-экономическое развитие муниципальных районов Республики Саха (Якутия). На основе производственной функции CES с постоянной эластичностью замещения факторов (капитал, труд) проанализированы пять ключевых добывающих районов: Алданский, Ленский, Мирнинский, Нерюнгринский, Оймяконский, которые обеспечивают более 90% объема добычи полезных ископаемых региона. Для анализа использованы данные статистики за 2000–2023 гг., включающие объем отгруженных товаров собственного производства, стоимость основных фондов и среднегодовую численность работников предприятий. Результаты исследования показали: 1 – наибольшую сбалансированность использования ресурсов в Алданском и Ленском районах; 2 – низкое качество модели в Нерюнгринском, что связано с высокой волатильностью угледобычи и дефицитом данных. На макроуровне Республика Саха (Якутия) в целом – модель демонстрирует почти идеальное соответствие, подтверждая ее применимость для стратегического планирования.

Разработанная модель может служить инструментом для оптимизации инвестиций, разработки стратегий устойчивого развития и минимизации рисков в территориях присутствия. Ограничения исследования связаны с недостатком муниципальной статистики, что требует интеграции дополнительных социально-экологических параметров в будущих работах. Для дальнейшего исследования потребуется более дифференцированный подход к управлению на локальном уровне для обеспечения сбалансированного роста

Ключевые слова: добывающая промышленность, Республика Саха (Якутия), производственная функция CES, эластичность замещения, муниципальные районы, эффективность ресурсов

Благодарности: Статья написана в рамках проекта государственного задания Минобрнауки РФ «Современные методы математического моделирования и их приложения» (№ FSRG-2023-0025).

Для цитирования: Никифорова В.В., Григорьева Е.Э., Соломонов М.П. Экономико-математическое моделирование добывающей отрасли Республики Саха (Якутия): оценка эффективности использования ресурсов. *Горная промышленность*. 2025;(4):134–139. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-134-139>

Economic and mathematical modeling of the mining industry in the Republic of Sakha (Yakutia): assessment of the resource utilization efficiency

V.V. Nikiforova¹✉, E.E. Grigorieva¹, M.P. Solomonov²

¹Research Institute of regional Economics of the North, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation

²Federal Research Center of the Yakutsk Research Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation

✉ nikvalentina2010@yandex.ru

Abstract: This article presents an economic and mathematical modeling of the impact of the mining industry on the social and economic development of municipal districts in the Republic of Sakha (Yakutia). Five key mining districts were evaluated, i.e. the Aldansky, Lensky, Mirninsky, Neryungrinsky, and Oymyakonsky districts, using the CES (Constant Elasticity of Substitution) production function to analyze the substitution elasticity between capital and labor. These districts account for over 90% of the region's mineral mining. The study utilizes the official municipal statistics from 2000–2023, including data on the off-loaded volumes of locally produced goods, the value of fixed assets, and the average annual number of employees at these companies.

The results revealed the most balanced resource utilization in the Aldansky and Lensky districts, while the low model accuracy for Neryungrinsky district was attributed to coal production volatility and data scarcity. At the macro level, the model demonstrated near-perfect alignment for the Republic of Sakha (Yakutia) as a whole, confirming its applicability for strategic planning. The developed model serves as a tool for optimizing investments, designing sustainable development strategies, and minimizing risks in the mining territories. Study limitations stem from insufficient municipal statistics, that require integration of social and environmental parameters in the future. Further research needs a more differentiated approach to local management to ensure balanced growth.

Keywords: mining industry, Republic of Sakha (Yakutia), CES production function, elasticity of substitution, municipal districts, resource efficiency

Acknowledgments: The article was prepared within the framework of the state assignment project of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation entitled "Advanced methods of mathematical modeling and their applications" (No. FSRG-2023-0025).

For citation: Nikiforova V.V., Grigorieva E.E., Solomonov M.P. Economic and mathematical modeling of the mining industry in the Republic of Sakha (Yakutia): assessment of the resource utilization efficiency. *Russian Mining Industry*. 2025;(4):134–139. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-134-139>

Введение

В последние годы добывающая промышленность в социально-экономическом развитии Республики Саха (Якутия) играет все большую роль, если в 2010 г. ее доля в валовом региональном продукте (ВРП) занимала 55%, то в 2023 г. – более 80%. Данный показатель связан с освоением крупных нефтегазовых и золоторудных месторождений. Но вместе с тем влияние добывающей промышленности на социально-экономическую систему локальных территорий присутствия недостаточно изучено.

Сложность и неоднородность ключевых элементов социально-экономической системы северного региона предполагают при разработке модели использование множества методов и инструментариев моделирования как общепринятых, так и адаптированных под решаемые задачи для достижения большей вероятности прогнозирования. Основной целью данной статьи является построение многофакторной модели, которая станет одним из прикладных инструментов управления локальной территорией.

Для достижения поставленной цели следует решить ряд действий:

- обзор и анализ существующих инструментариев методов прогнозирования добывающей промышленности;
- выбор адаптированной методики моделирования, пригодной для локальных территорий присутствия добывающей промышленности;
- обоснование применяемых параметров моделирования;
- определение взаимосвязи показателей добывающей промышленности и социально-экономической системы локальных территорий.

Объектом исследования подобраны муниципальные районы региона, на территориях которых сосредоточены основные разрабатываемые месторождения полезных ископаемых.

Материалы и методы

Для моделирования перспектив развития добывающей промышленности и ее влияния на социально-экономическое развитие региона многими исследователями предлагаются различные методические подходы, учитывающие разные факторы, влияющие на результирующий показатель (объем продукции).

Часть исследователей опираются на изучение производственно-экономических систем на основе модификации нелинейной обобщенной макроэкономической модели

Роберта Солоу, разработанной еще в 1950-х гг. [1]. Стоит отметить, что данная модель является как бы отправной точкой для всех современных исследований экономического роста [2].

Р.А. Жуков, Н.О. Козлова и др. предлагают регрессионные модели для оценки состояния и перспектив развития добывающей отрасли во взаимосвязи с другими подсистемами, что позволяет достичь наилучших экономических, экологических и социальных результатов функционирования. Они считают, что объем добычи полезных ископаемых может быть смоделирован на основе линейной производственной функции, которая имеет высокую степень соответствия фактическим данным. Значимыми факторными признаками модели являются стоимость основных фондов и занятость в отрасли [3; 4].

Т.П. Скуфина и С.В. Баранов в математико-статистическом моделировании динамики производства ВРП северных территорий, в том числе Республики Саха (Якутия), определяют лучшей моделью прогнозирования индекса физического объема ВРП производственную функцию CES (постоянная эластичность замещения – англ. constant elasticity of substitution) [5].

CES – это свойство производственной функции или функции полезности, при котором эластичность пропорции аргументов функции по отношению к пропорции их предельных продуктов остаётся неизменной при любых значениях аргументов. Другими словами, способность заменять один фактор производства другим (например, труд капиталом) для поддержания одинакового уровня производства остаётся постоянной на разных уровнях производства [6]. Данная модель наиболее полно раскрывает взаимосвязи между факторами производства. В отличие от традиционных подходов она позволяет учитывать нелинейные зависимости и гибкость в замещении ресурсов¹.

Д. Аджемоглу, П. Рестрепо используют CES-функцию для анализа замещения труда и капитала в условиях автоматизации. Показывают, что эластичность замещения между низкоквалифицированным трудом и роботами выше, чем между высококвалифицированным трудом и капиталом [7].

Д. Хемус и М. Олсен, модифицируя CES-модель для изучения влияния искусственного интеллекта на рынок труда, обнаружили, что автоматизация увеличивает разрыв

¹ Функция CES. Режим доступа: <https://new.1-fin.ru/?id=281&t=1943> (дата обращения 12.03.2025)

в доходах, если эластичность замещения труда и капитала больше 1 [8].

П. Штифенхофер считает, что интеграция общего искусственного интеллекта в экономическое производство представляет собой трансформационный сдвиг, имеющий глубокие последствия для рынков труда, распределения доходов и технологического роста. Это исследование расширяет производственную функцию CES, включив в нее труд и капитал, управляемые искусственным интеллектом, наряду с традиционными ресурсами, обеспечивая комплексную основу для анализа экономического воздействия искусственного интеллекта [9].

Д.Р. Бакай и Э. Фархи включают CES-агрегирование в модель межотраслевых связей разных стран, объясняя различия в производительности между ними [10].

Многие исследователи основным объектом математического моделирования рассматривают производственный процесс с выявлением значимых факторов воздействия других подсистем на региональную экономическую систему на основе статистически наблюдаемых закономерностей [11–15].

Мы в своих исследованиях экономико-математического моделирования региональной добывающей промышленности применили производственную функцию, которая считается одной из важных в этом направлении. Классический подход к моделированию производственных процессов с помощью данной функции состоит в анализе динамических рядов экономической системы, характеризующих выпуск продукции Y , а также используемые для этого ресурсы (труд L и капитал K) [5]:

$$Y(t) = F[K(t), L(t)], \quad (1)$$

где Y – объем продукции; K – стоимость основных фондов; L – численность занятых.

Объектом исследования нами подобраны 5 муниципальных районов, на долю которых в структуре по виду экономической деятельности «Добыча полезных ископаемых» (ВЭД ДПИ) приходится более 90%: Алданский, Ленский, Мирнинский, Нерюнгринский и Оймяконский (рис. 1).

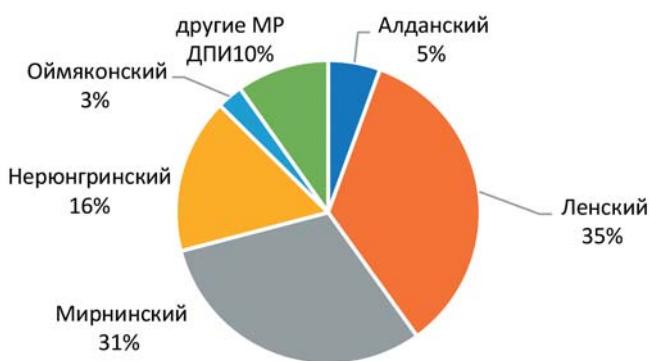


Рис. 1
Структура ВЭД ДПИ РС(Я)
по муниципальным районам
в 2023 г., %

Составлено по данным Федеральной службы государственной статистики по Республике Саха (Якутия). Режим доступа: <https://14.rosstat.gov.ru/ofstatistics> (дата обращения 20.03.2025).

Fig. 1
Structure of the economic activity of mineral mining in the Republic of Sakha (Yakutia) by municipal districts in 2023, %

Compiled based on the data of the Federal State Statistics Service (Rosstat) for the Republic of Sakha (Yakutia). (In Russ.) Available at: <https://14.rosstat.gov.ru/ofstatistics> (accessed: 20.03.2025).

На территориях данных районов ведется добыча высоколиквидных, экспортно-ориентированных видов полезных ископаемых: алмазов, нефти, газа, угля и золота. Недропользователями являются крупные российские компании: «Роснефть», «Газпром», «Полюс», «Сургутнефтегаз», «Колмар» и др.

Прежде чем приступить к моделированию, рассмотрим корреляционную зависимость между оцениваемыми параметрами добывающей промышленности: объемом продукции Y , стоимостью основных фондов K и численностью занятых в отрасли L (табл. 1).

Таблица 1
Коэффициенты корреляции
параметров производственной
функции

Table 1
Correlation coefficients
of the production function
parameters

Муниципальные районы	$Y\text{-}K$	$Y\text{-}L$	$K\text{-}L$
РС(Я)	0,97	0,96	0,96
Алданский	0,76	0,90	0,82
Ленский	0,94	0,84	0,80
Мирнинский	0,96	0,88	0,90
Нерюнгринский	0,50	0,89	0,53
Оймяконский	0,89	0,80	0,74

Из данных табл. 1 видно, что наиболее высокие коэффициенты корреляции между оцениваемыми параметрами в целом по республике, а также в Ленском и Мирнинском районах, средние показатели в Оймяконском и в Нерюнгринском районах. Во всех районах наблюдается высокая взаимозависимость между объемом продукции и занятостью населения (0,8–0,96). В целом, можно утверждать, что показатели вполне взаимозависимы.

При моделировании региональной добывающей промышленности применили следующие показатели официальной региональной и муниципальной статистики по Республике Саха (Якутия): объем отгруженных товаров собственного производства, стоимость основных фондов коммерческих и некоммерческих организаций с учетом износа и среднегодовая численность работников организаций (без субъектов малого предпринимательства) муниципальных районов, на территориях которых размещено добывающее производство². Диапазон исследований охватывает 2000–2023 гг. Следует отметить, что на многие показатели муниципальной статистики введены ограничения к открытому доступу. В связи с этим в своих расчетах ограничились доступными статистическими показателями. К сожалению, целый ряд количественных показателей, которые могут характеризовать добывающую промышленность на практике, не может быть корректно применен на региональном и муниципальном уровне, что усложняет задачу построения прогнозных моделей.

Для моделирования объема отгруженных товаров собственного производства применили производственную функцию CES:

$$Q = A(\alpha K^{\alpha} + (1-\alpha) L^{\alpha})^{1/\alpha}, \quad (2)$$

где Q – объем выпуска (производства); A – параметр технологического уровня (фактор общей производитель-

² Федеральная служба государственной статистики по Республике Саха (Якутия). Режим доступа: <https://14.rosstat.gov.ru/ofstatistics> (дата обращения 20.03.2025).

ности); K – объем капитала; L – объем труда; α – доля капитала в производстве ($0 < \alpha < 1$); ϱ – параметр, связанный с эластичностью замены ($\varrho \geq -1$).

В наших исследованиях: Q – объем отгруженных товаров собственного производства муниципального района, K – стоимость основных фондов с учетом износа, L – среднегодовая численность работников предприятий.

Расчеты проведены в программе Microsoft Excel с использованием функций «Поиск решений» и «Анализ данных». Дополнительно к параметрам модели рассчитали показатели σ и R^2 :

– σ – эластичность замены между капиталом и трудом, определяется как: $\sigma = 1 / (1 - \varrho)$. Если $\varrho = 0$, то $\sigma = 1$, и функция CES сводится к функции Кобба–Дугласа, если $\varrho \rightarrow \infty$, то $\sigma \rightarrow 0$, и факторы производства становятся совершенными комплементами, если $\varrho \rightarrow -1$, то $\sigma \rightarrow \infty$, и факторы становятся совершенными субститутами [6];

– R^2 ($0 < R^2 < 1$) – коэффициент детерминации, который определяет уровень соответствия данных статистической модели: чем значение R^2 ближе к 1, тем лучшее соответствие модели данным.

Результаты и обсуждение

На основе модели (2) определены ожидаемые значения показателей результативности Q_{pred} (объема отгруженных товаров собственного производства добывающих муниципальных районов и республики в целом) при известных факторах стоимости основных фондов K и среднегодовой численности работающих на предприятиях L (рис. 2).

В данном исследовании ожидаемое значение результирующего показателя определяет степень эффективности использования факторов производства (основных фондов и рабочей силы) и сбалансированность развития отраслей экономики (чем ближе Q_{fakt} к Q_{pred} , тем эффективнее производство). При резких различиях результирующих показателей следует обратить внимание на косвенные производственные факторы (менеджмент, технологии и др.), также на влияние экономических и политических кризисов, рыночной конъюнктуры.

Результаты расчетов параметров производственной функции приведены в табл. 2.



Рис. 2

Сравнительная динамика фактических Q_{fakt} и ожидаемых Q_{pred} значений показателей объема отгруженных товаров собственного производства добывающих муниципальных районов Республики Саха (Якутия) за 2010–2023 гг., млн руб.



Fig. 2

Comparative dynamics of the actual (Q_{fakt}) and expected (Q_{pred}) values of the indicators for the off-loaded volumes of the locally produced goods of the mining municipal districts of the Republic of Sakha (Yakutia) for 2010–2023, mln. RUR

Таблица 2

Параметры производственной функции CES, оцененные для добывающих муниципальных районов Республики Саха (Якутия) 2010–2023 гг., значения коэффициента эластичности замещения факторов производства, а также критерии \bar{B} и R^2

Муниципальные районы	A	α	ρ	Б	R²
РС(Я)	1,03	0,51	0,64	2,78	0,99
Алданский	1,11	0,53	0,77	4,26	0,82
Ленский	1,07	0,53	0,72	3,54	0,83
Мирнинский	1,03	0,51	0,62	2,63	0,58
Нерюнгринский	1,04	0,52	0,64	2,78	0,32
Оймяконский	1,04	0,52	0,64	2,76	0,81

Table 2

Parameters of the CES production function estimated for the mining municipal districts of the Republic of Sakha (Yakutia) for 2010–2023, values of the coefficient of substitution elasticity for the production factors, as well as the \bar{B} and R^2 criteria

тильностью добычи угля и алмазов или недостаточностью данных;

– в целом по республике модель демонстрирует почти идеальное соответствие ($R^2 = 0,99$), что подтверждает ее применимость для макроуровневого анализа.

Заключение

Проведенное исследование позволило разработать многофакторную модель, оценивающую влияние добывающей промышленности на социально-экономическое развитие муниципальных районов Республики Саха (Якутия). На основе производственной функции CES с постоянной эластичностью замены факторов (капитала и труда) были проанализированы пять ключевых добывающих районов, обеспечивающих более 90% объема добычи полезных ископаемых в регионе. Стоит отметить, что ограничения исследования связаны с недостатком муниципальной статистики, что сужает выбор факторов модели. Для повышения точности прогнозов требуются дополнительные данные, включая экологические, инфраструктурные и социальные показатели.

Разработанная модель может быть использована органами государственного управления и недропользователями для: оптимизации инвестиций в основные фонды и трудовые ресурсы, разработки стратегий устойчивого развития добывающих территорий, минимизации рисков перекосов в экономике локальных территорий.

Перспективы дальнейших исследований включают расширение модели за счет интеграции социальных и экологических параметров, а также применение методов машинного обучения для учета нелинейных зависимостей.

Таким образом, исследование подтверждает, что добывающая промышленность остается ключевым драйвером экономики Якутии, но требует дифференцированного подхода к управлению на локальном уровне для обеспечения сбалансированного роста.

Анализ расчетов показывает:

- наибольшая сбалансированность наблюдается в Алданском ($R^2 = 0,82$) и Ленском ($R^2 = 0,83$) районах, где модель хорошо объясняет зависимость между затратами и выпуском;
- отставание фактических показателей от прогнозируемых в Ленском и Оймяконском районах свидетельствует о неполной загрузке мощностей или неоптимальном распределении труда и капитала;
- превышение фактического значения в Мирнинском и в целом по республике говорит о локальной эффективности использования факторов производства;
- в Мирнинском районе ($R^2 = 0,58$) и особенно в Нерюнгринском ($R^2 = 0,32$) отмечается слабая объясняющая способность модели, что может быть связано с высокой волатильностью добычи угля и алмазов или недостаточностью данных;

Список литературы / References

1. Дилигенская А.Н. Математическое моделирование и анализ процессов управления производственными системами. *Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2010;18(7):14–18. Режим доступа: <https://journals.eco-vector.com/1991-8542/article/view/19491> (дата обращения: 11.04.2025). Diligenkaya A.N. Mathematical modeling and analysis of the control processes of production systems. *Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series*. 2010;18(7):14–18. (In Russ.) Available at: <https://journals.eco-vector.com/1991-8542/article/view/19491> (accessed: 11.04.2025).
2. Муллахмедова С.С., Шахпазова Р.Д., Саралинова Д.С., Омаров З.З. Модель экономического роста Р. Солоу: генезис теории и методологии. *Региональные проблемы преобразования экономики*. 2019;(12):7–15. <https://doi.org/10.26726/1812-7096-2019-12-7-15> Mullahmedova S.S., Shakhpazova R.D., Saralinaova Ja.S., Omarov Z.Z. Solow's economic growth model: Genesis of theory and methodology. *Regionalnye Problemy Preobrazovaniya Ekonomiki*. 2019;(12):7–15. (In Russ.) <https://doi.org/10.26726/1812-7096-2019-12-7-15>
3. Жуков Р.А., Козлова Н.О., Хлынин Э.В., Городничев С.В. Экономико-математическое моделирование состояния и перспективы добычи полезных ископаемых в регионах ЦФО. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2022;(3):354–368. Zhukov R.A., Kozlova N.O., Khlynin E.V., Gorodnichev S.V. Economic and mathematical modeling of the condition and prospects of extraction of minerals in the central federal district regions. *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2022;(3):354–368. (In Russ.)
4. Грабовец О.В., Сидорчукова Е.В. Корреляционно-регрессионный анализ как метод обоснования управленческих решений. *Экономика и социум*. 2015;(6-2):633–638. Grabovets O.V., Sidorova A.V. Correlation and regression analysis as a method of substantiating management decisions. *Economy and Society*. 2015;(6-2):633–638. (In Russ.)

5. Скуфына Т.П., Баранов С.В. Математико-статистическое моделирование динамики производства ВРП регионов Севера и Арктики: в поисках лучшей модели. *Вопросы статистики*. 2017;(7):52–64. Режим доступа: <https://voprstat.elpub.ru/jour/article/view/538> (дата обращения: 11.04.2025). Skufina T.P., Baranov S.V. Mathematical and statistical modeling of the grp production dynamics in the regions of the north and the arctic: in search of a better model. *Voprosy Statistiki*. 2017;(7):52–64. (In Russ.) Available at: <https://voprstat.elpub.ru/jour/article/view/5381> (accessed: 11.04.2025).
6. McFadden D. Constant elasticity of substitution production functions. *The Review of Economic Studies*. 1963;30(2):73–83. <https://doi.org/10.2307/2295804>
7. Acemoglu D., Restrepo P. Tasks, automation, and the rise in US wage inequality. *Econometrica*. 2022;90(5):1973–2016. <https://doi.org/10.3982/ECTA19815>
8. Hémous D., Olsen M. The rise of the machines: Automation, horizontal innovation, and income inequality. *American Economic Journal: Macroeconomics*. 2022;14(1):179–223. <https://doi.org/10.1257/mac.20160164>
9. Stiefenhofer P. The future of work and capital: analyzing AGI in a CES production model. *Applied Mathematical Sciences*. 2025;19(2):47–58. <https://doi.org/10.12988/ams.2025.919196>
10. Baqaee D.R., Farhi E. Networks, barriers, and trade. *Econometrica*. 2024;92(2):505–541. <https://doi.org/10.3982/ECTA17513>
11. Мартынова С.И., Дмитриев А.П. Производственный процесс как объект математического моделирования. В кн.: Литовский С.М. (ред.) *Тезисы докладов 36-й научно-технической конференции преподавателей и студентов университета*, г. Витебск, 22–23 апр. 2023 г. Витебск: Витебский государственный технологический университет; 2003. С. 23–24.
12. Кретова Ю.И., Цирульниченко Л.А. Математическое моделирование как эффективный инструмент прогнозирования и управления производственными процессами. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*. 2018;6(1):5–13. <https://doi.org/10.14529/food180101>
Kretova Yu.I., Tcirulnichenko L.A. Mathematical modeling as an effective instrument for production processes predication and management. *Bulletin of South Ural State University, Series Food and Biotechnology*. 2018, 2018;6(1):5–13. (In Russ.) <https://doi.org/10.14529/food180101>
13. Биккулов И.М., Самиков А.А., Герасимов И.А. Применение математического моделирования для оптимизации производственных процессов. В кн.: Боев Е.В., Кадыров Р.Р., Андриянова Н.В., Сулейманов Д.Ф., Горбунова М.А., Овсянникова И.В. (ред.) *Малоотходные, ресурсосберегающие химические технологии и экологическая безопасность – 2020: сб. материалов 3-й Всерос. науч.-практ. конф.*, г. Стерлитамак, 20 окт. 2020 г. Уфа: Нефтегазовое дело; 2020. С. 585–590.
14. Лемешко Е.Ю. Применение математического моделирования для оптимизации производственных процессов. *Вестник науки*. 2024;1(4):452–456. Режим доступа: <https://www.вестник-науки.рф/article/13733> (дата обращения: 11.04.2025). Lemeshko E.Yu. Application of mathematical modeling to optimize production processes. *Science Bulletin*. 2024;1(4):452–456. (In Russ.) Available at: <https://www.вестник-науки.рф/article/13733> (accessed: 11.04.2025).
15. Komissarov P.V. Comprehensive assessment of the base of mathematical modelling of production business processes. *European Scientific e-Journal*. 2021;(8):7–23. <https://doi.org/10.47451/man2021-09-001>

Информация об авторах

Никифорова Валентина Васильевна – кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский институт региональной экономики Севера Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация; e-mail: nikvalentina2010@yandex.ru

Григорьева Елена Эдуардовна – кандидат экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский институт региональной экономики Севера Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация; e-mail: elena.grigoreva80@mail.ru

Соломонов Михаил Прокопьевич – кандидат экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела региональных экономических и социальных исследований, Федеральный исследовательский центр Якутского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск, Российская Федерация; e-mail: slmnvm@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 03.05.2025
Поступила после рецензирования: 10.06.2025
Принята к публикации: 23.06.2025

Information about the authors

Valentina V. Nikiforova – Cand. Sci. (Econ.), Leading Researcher, Research Institute of regional Economics of the North, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation; e-mail: nikvalentina2010@yandex.ru

Elena E. Grigorieva – Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Leading Researcher, Research Institute of regional Economics of the North, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation; e-mail: elena.grigoreva80@mail.ru

Michael P. Solomonov – Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Leading Researcher of the Department of Regional Economic and Social Research, Federal Research Center of the Yakutsk Research Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation; e-mail: slmnvm@mail.ru

Article info

Received: 03.05.2025
Revised: 10.06.2025
Accepted: 23.06.2025

Возможности и перспективы освоения минерально-сырьевого сектора восточной и южной экономических зон Тувы

Д.Ф. Дабиев¹✉, Н.С. Гичиев², И.Е. Отвагина³, Ш.В. Хертек⁴

¹ Центр биосферных исследований, г. Кызыл, Российской Федерации

² Институт социально-экономических исследований Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук, г. Махачкала, Российской Федерации

³ Новосибирский государственный университет экономики и управления, г. Новосибирск, Российской Федерации

⁴ Тувинский государственный университет, г. Кызыл, Российской Федерации

✉ daviddabiev@yahoo.com

Резюме: Выполнена экономическая оценка месторождений полезных ископаемых нераспределенного фонда восточной и южной экономических зон Тувы с использованием доходного метода, которая показала, что наиболее привлекательными с инвестиционной точки зрения остаются месторождения рудного золота. При этом оценка показывает невысокий потенциал освоения Баян-Кольского месторождения нефелиновых руд и Улуг-Танзекского tantalо-ниобиевого месторождения. Это связано с удаленностью этих месторождений полезных ископаемых от транспортной и энергетической инфраструктуры региона. В целях повышения инвестиционной привлекательности нами предложен инструмент государственно-частного партнерства (ГЧП), при котором для проектов с низкими показателями рентабельности в течение первых трех лет работы предприятия исключаются налоги, входящие в эксплозатраты: НДПИ, социальные отчисления и т.д. Выполненная оценка показывает, что в этом случае рентабельность для Улуг-Танзекского tantalо-ниобиевого месторождения значительно повышается – ЧДД увеличивается до 14,9 млрд руб., ВНД до 15%, но применение этих же изменений для Баян-Кольского месторождения недостаточно для его освоения. Таким образом, значительной инвестиционной привлекательностью обладают рудные месторождения золота, а месторождения цветных, редких и редкоземельных металлов имеют не столь высокую рентабельность, в связи с высокой капиталоёмкостью горнодобывающих проектов, отсутствием энергетической и транспортной инфраструктуры, которые в общем увеличивают финансовые риски реализации проектов. Для повышения инвестиционной привлекательности месторождений полезных ископаемых в труднодоступных районах нами предлагается инструмент ГЧП в виде временного исключения уплаты налогов (от 3 до 5 лет).

Ключевые слова: оценка потенциала, минерально-сырьевой регион, Тыва, Баян-Кол, Улуг-Танзек, золото, транспортная инфраструктура, энергетическая инфраструктура

Для цитирования: Дабиев Д.Ф., Гичиев Н.С., Отвагина И.Е., Хертек Ш.В. Возможности и перспективы освоения минерально-сырьевого сектора восточной и южной экономических зон Тувы. *Горная промышленность*. 2025;(4):140–143. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-140-143>

Opportunities and prospects for the development of the mineral resource sector of the eastern and southern economic zones of Tyva

D.F. Dabiev¹✉, N.S. Gichiev², I.E. Otvagina³, S.V. Khertek⁴

¹ Biosphere Research Center, Kyzyl, Russian Federation

² Institute of Socio-Economic Research of the Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russian Federation

³ Novosibirsk State University of Economics and Management, Novosibirsk, Russian Federation

⁴ Tuvan State University, Kyzyl, Russian Federation

✉ daviddabiev@yahoo.com

Abstract: An economic assessment of mineral deposits of the unallocated subsoil reserve fund of the eastern and southern economic zones of Tuva was carried out using the discounted cash flow method, which showed that ore gold deposits remain the most attractive assets from the investor's point of view. At the same time, the assessment shows a low potential for the development of the Bayan-Kola deposit of nepheline ores and the Ulug-Tanzek tantalum-niobium deposit. This is due to the remoteness of these mineral deposits from the transport and energy infrastructure of the region. In order to increase the investment attractiveness, we have proposed the public-private partnership (PPP) tool, in which the taxes on the operating costs,

e.g. the mineral extraction tax, social contributions, etc., are excluded for projects with low profitability for the first three years of the company's operation. The performed assessment shows that in this case the profitability for the Ulug-Tanzek tantalum-niobium deposit increases significantly, i.e. the NPV increases to 14.9 billion rubles, while the IRR goes up to 15%. However, application of the same scenario for the Bayan-Kola deposit is insufficient for its development. Therefore, gold ore deposits have significant investment attractiveness, and deposits of non-ferrous, rare and rare earth metals are not characterized with such a high profitability, which is associated with high capital intensity of the mining projects, the lack of energy and transport infrastructure, which generally increase the financial risks of the project implementation. In order to increase the investment attractiveness of the mineral deposits in hard-to-reach areas, we propose the PPP tool in the form of a temporary tax exemption (from 3 to 5 years).

Keywords: potential assessment, mineral resource region, Tyva, Bayan-Kol, Ulug-Tanzek, gold, transport infrastructure, energy infrastructure

For citation: Dabiev D.F., Gichiev N.S., Otvagina I.E., Khertek S.V. Opportunities and prospects for the development of the mineral resource sector of the eastern and southern economic zones of Tyva. *Russian Mining Industry*. 2025;(4):140–143. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-140-143>

Введение

Республика Тыва имеет уникальное географическое положение и обладает богатыми минерально-сырьевыми ресурсами, что делает ее привлекательной для инвестиций в горнодобывающую промышленность. Восточная и южная экономические зоны Тувы имеют разные условия и возможности для освоения минерально-сырьевого сектора.

Восточная зона богата разнообразными минералами, включая каменный уголь, асбест, благородные и цветные металлы, что создает условия для развития горнодобывающей промышленности и создания крупных горнопромышленных комплексов. Реализация проектов, связанных со строительством горно-обогатительного комбината на базе медно-порфирового месторождения Ак-Суг, способствует активному росту экономики региона.

Дополнительным стимулом экономического роста и благосостояния населения может стать формирование и развитие экономического коридора «Россия – Монголия – Китай», открывающего возможности для экспорта минерального сырья и развития транспортной инфраструктуры, существенно повышающего экономическую эффективность освоения минеральных ресурсов региона.

В целом освоение минерально-сырьевого сектора в восточной и южной экономических зонах Тувы имеет значительный потенциал для экономического роста и повышения благосостояния населения.

В этой связи необходимо отметить важность учета влияния глобальных факторов, актуализирующих поиск эндогенных резервов самодостаточного роста экономики региона. Так, в период действия экономических санкций одним из главных приоритетов развития становится использование внутренних ресурсов экономики, которые являются фундаментом, обеспечивающим прочность и дальнейшее поступательное движение народного хозяйства страны. Безусловно, к стратегическим ресурсам страны относятся месторождения полезных ископаемых, которыми богата сибирская земля, на территории которой дислоцирована «львиная» доля запасов нефти, газа, угля, цветных, редких и редкоземельных металлов. К сожалению, значительная часть минерально-сырьевого потенциала расположена в труднодоступных местах со сложным горным рельефом, в которых отсутствуют транспортная и энергетическая инфраструктура. Одним из таких мест, богатых минеральным сырьем, но труднодоступных – является восточная и южная часть Республики Тыва, потенциал развития которой изучен недостаточно.

Целью настоящей работы является оценка потенциала освоения минерально-сырьевых ресурсов восточной и южной экономической зоны Тувы и его влияния на экономическое развитие республики.

Методы

Экономические расчеты оценки освоения месторождений полезных ископаемых выполнены с использованием доходного подхода¹, который позволяет определить выгодность капитальных вложений в разработку месторождений. При оценке были использованы коэффициенты перевода прогнозных ресурсов в промышленную категорию С₁². Базой расчетов для оценки послужили ранее составленные отчеты ТЭО с применением их значений к 2024 г. с помощью переводных коэффициентов-дефляторов³. Учтены стандартные налоговые платежи и цены на минеральное сырье на 2024 г.

Результаты

К восточной экономической зоне Тувы относятся Тоджинский и Кaa-Хемский районы, к южной – Эрзинский, Тес-Хемский и Тере-Хольский. В восточной и южной экономической зоне расположены месторождения цветных металлов, которые отнесены к распределенному фонду недр – Кызыл-Таштыгское полиметаллическое, Ак-Сугское меднопорфировое и Тастыгское месторождение сподуменовых руд. К нераспределенному фонду недр относятся Улуг-Танзекское tantalо-ниобиевое месторождение и Баян-Кольское месторождение нефелиновых руд. Кроме этого, в восточной и южной экономической зоне весьма распространены месторождения рудного и россыпного золота. Все вышеперечисленные месторождения расположены в труднодоступных районах Тувы [1].

Тем не менее расположение в этих районах крупных месторождений полезных ископаемых не отпугивает инвесторов, наоборот – в последние годы наметилась инвестиционная активность: с 2014 г. китайскими инвесторами разрабатывается Кызыл-Таштыгское свинцово-цинковое

¹ Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. Утверждено Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, Государственным комитетом РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике 21.06.1999 N ВК 477. Режим доступа: https://minek.rk.gov.ru/file/File/minek/2017/sez/metodrekommend_ocenka_invproektov.pdf (дата обращения 20.05.2021).

² Поздняков Н.И. Геолого-экономическая оценка Баянкольского нефелиновых руд, Хову-Аксынского никель-cobальтового и Кызыл-Таштыгского месторождений. ВИЭМС; 2000. ТТФГИ по РТ, инв. № 2328.

³ Регионы России. Социально-экономические показатели. 2024: Стат. сб. М.: Росстат; 2024. 1081 с.

месторождение, право пользования Ак-Сутским меднорудным месторождением принадлежит ООО «Голевская горнорудная компания», в 2023 г. лицензию на разработку Тастыгского литиевого месторождения получила дочерняя компания «Ростеха» – ООО «Эльбрусметалл-Литий»⁴.

Нами выполнена экономическая оценка месторождений полезных ископаемых нераспределенного фонда восточной и южной экономических зон Тувы с использованием доходного метода, которая показала, что наиболее привлекательными с инвестиционной точки зрения остаются месторождения рудного золота. Например, экономическая оценка разработки Деспенского золоторудного месторождения показывает, что при капитальных затратах 5168,9 млн руб. инвестиционные вложения в освоение месторождение будут рентабельными: чистый дисконтированный доход – на уровне 1685 млн руб. при внутренней норме доходности 31,6%, индексе доходности 1,56 и сроке окупаемости вложений 3,2 года (табл. 1). Остальные месторождения рудного золота также являются рентабельными.

К сожалению, возможности освоения Баян-Кольского месторождения нефелиновых руд остаются под вопросом. Добыча руды оценивается в 2650 тыс. т в год. Предполагается добыча глинозема – 585 тыс. т, поташа (калий угле-

кислый) – 41,3 тыс. т, кальцинированной соды – 404,9 тыс. т и цемента – 330,0 тыс. т. Приблизительные расчеты показывают, что при капитальных вложениях в освоение Баян-Кольского месторождения нефелиновых руд (данные 2023 г.) в 136,32 млрд руб., годовой стоимости продукции в 43,04 млрд руб., годовых эксплозатратах в 28,53 млрд руб. инвестиции не будут окупаемыми: чистый дисконтированный доход отрицательный, индекс прибыльности 0,63%.

Невысокими инвестиционными параметрами обладает и Улуг-Танзекское tantalо-ниобиевое месторождение. При инвестиционных вложениях около 70 млрд руб. предполагается годовая добыча руды в размере 5 млн т, которая обеспечит выпуск технической пятиокиси tantalа, фтортантала калия, уранового и редкоземельного концентрата с годовой выручкой 44,7 млрд руб. Тем не менее невысокая рентабельность проекта и значительный срок окупаемости инвестиций (23,3 года) говорят о высоких рисках вложений, которые связаны с инфраструктурными ограничениями (табл. 1). Расчеты выполнены при ставке дисконтирования в 0,12 пунктов, при увеличении этого показателя до 0,15 пункта, который характеризует увеличение рисков, проект становится нерентабельным.

Выполненная оценка позволяет определить экономический эффект для региона: в результате освоения ме-

Таблица 2

Шкалы оценки тяжести негативных последствий *T* и вероятности *B* возникновения негативного события

Table 2

Reference scales to assess the severity of adverse consequences (*T*) and probability (*B*) of an adverse event occurrence

Месторождение	Капитальные затраты, млн руб.	Годовые эксплуатационные затраты, млн руб.	Годовая выручка, млн руб.	Внутренняя норма доходности, %	Индекс доходности	Период окупаемости, лет	Чистая дисконтированная стоимость, млн руб.	Увеличение ВДС, млн руб.
1	2	3		4	5	6	7	
Редкие и редкоземельные металлы								
Улуг-Танзекское tantalо-ниобиевое месторождение	70 027,0	28 681,4	44762,3	13,22	1,12	23,3	6 374,7	11653,4
Цветные металлы								
Баян-Кольское месторождение нефелиновых уртитов	136322,8	28535,2	43044,5	7,5%	0,63	19,9	-37802,8	–
Рудное золото								
Деспенская золоторудная площадь	4168,9	2110,2	3517,1	31,6%	1,56	3,4	1685,0	2459,0
Октябрьское золоторудное поле	7850,3	4130,0	6900,2	30,5%	1,49	3,1	2956,3	4569,2
Эмийская золоторудная площадь	3850,1	1985,3	3354,6	28,4%	1,38	3,8	1490,3	2156,9
Кара-Бельдырское золоторудное поле	8337,8	4305,0	7175,0	29,5%	1,47	3,70	3356,3	4995,2
Итого	230 556,9	–	–	–	–	–	–	49167,6

⁴ О Государственном докладе о состоянии и об охране окружающей среды Республики Тыва в 2023 году: постановление Правительства Республики Тыва № 496 от 16.10.2024 г.

сторождений полезных ископаемых Улуг-Танзекского тантало-ниобиевого месторождения прирост валовой добавленной стоимости (ВДС) оценивается в 11,6 млрд руб., освоение золотодобывающих месторождений даст прирост около 14,1 млрд руб. Кроме того, освоение таких месторождений полезных ископаемых распределенного фонда восточной и южной экономических зон Тывы, как Ак-Сугское медно-молибденовое, Кызыл-Таштыгское свинцово-цинковое и Тастыгское литиевое, могут обеспечить общий прирост ВДС в размере 44,6 млрд руб.

В целях повышения инвестиционной привлекательности нами предложен инструмент государственно-частного партнерства (ГЧП), при котором для проектов с низкими показателями рентабельности в течение первых трех лет работы предприятия исключаются налоги, входящие в эксплозатраты: НДПИ, социальные отчисления и т.д. Выполненная оценка показывает, что в этом случае рентабельность для Улуг-Танзекского тантало-ниобиевого месторождения значительно повышается – ЧДД увеличивается до 14,9 млрд руб., ВНД до 15%, но применение этих

же изменений для Баян-Кольского месторождения недостаточно для его освоения.

Выводы

Таким образом, общий прирост валовой добавленной стоимости при освоении минеральных ресурсов распределенного и нераспределенного фонда восточной и южной экономических зон Тывы оценивается в 93,7 млрд руб. Значительной инвестиционной привлекательностью обладают рудные месторождения, месторождения цветных, редких и редкоземельных металлов имеют не столь высокую рентабельность, из-за высокой капиталоёмкости горнодобывающих проектов, отсутствия энергетической и транспортной инфраструктуры, которые в общем увеличивают финансовые риски реализации проектов. Для повышения инвестиционной привлекательности месторождений полезных ископаемых в труднодоступных районах нами предлагается инструмент ГЧП в виде временного исключения уплаты налогов (от 3 до 5 лет).

Список литературы / References

1. Дабиев Д.Ф. Оценка развития горных регионов России. *Горная промышленность*. 2022;(2):81–83. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-2-81-83>
Dabiev D.F. Assessment of the development of the mountain regions of Russia. *Russian Mining Industry*. 2022;(2): 81–83. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-2-81-83>

Информация об авторах

Дабиев Давид Федорович – кандидат экономических наук, старший научный сотрудник, Центр биосферных исследований, г. Кызыл, Российская Федерация; e-mail: daviddabiev@yahoo.com

Гичиев Набиула Сапибулаевич – кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом теории и методологии регионального развития, Институт социально-экономических исследований Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук, г. Махачкала, Российская Федерация; e-mail: nabi-05@mail.ru

Отважина Ирина Евгеньевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры информационных технологий, Новосибирский государственный университет экономики и управления, Новосибирск, Российская Федерация; e-mail: arysha@bk.ru

Хертек Шенне Васильевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры бухгалтерского учета, анализа и аудита, Тувинский государственный университет, г. Кызыл, Российская Федерация; e-mail: hertek_shenne@mail.ru

Information about the authors

David F. Dabiev – Cand. Sci. (Econ.), Senior Researcher, Biosphere Research Center, Kyzyl, Russian Federation; e-mail: daviddabiev@yahoo.com

Nabiyula S. Gichev – Cand. Sci. (Econ.), Senior Researcher, Head of the Department of Theory and Methodology of Regional Development, Institute of Socio-Economic Research of the Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russian Federation; e-mail: nabi-05@mail.ru

Irina E. Otvagina – Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor of the Department of Information Technology, Novosibirsk state University of Economics and management, Novosibirsk, Russian Federation; e-mail: arysha@bk.ru

Shenne V. Khertek – Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor of the Department Accounting, analysis and auditing, Tuvan State University, Kyzyl, Russian Federation; e-mail: hertek_shenne@mail.ru

Article info

Received: 26.04.2025

Revised: 05.06.2025

Accepted: 23.06.2025

Информация о статье

Поступила в редакцию: 26.04.2025

Поступила после рецензирования: 05.06.2025

Принята к публикации: 23.06.2025

Численное моделирование процесса копания ковшом экскаватора методом дискретных элементов

В.А. Плащинский, Е.И. Шешукова✉, А.Э. Салимов, Д.А. Шибанов, С.Л. Иванов

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ katiger@mail.ru

Резюме: В работе исследуется процесс экскавации породы ковшом экскаватора. Проведены численные моделирования процесса копания с варьируемой величиной стружки, крупности и насыпной плотности породы с целью установления данных параметров на усилие при копании и на мощность. В результате численных экспериментов подтверждена адекватность и точность численной модели по критерию соответствия с физической моделью величин усилия копания и массы зачерпнутой породы. Определены функциональные зависимости для вычисления величины усилия копания и мощности в зависимости от данных параметров. Установлено, что, основываясь на энергетическом подходе, можно в зависимости от интенсивности расходования ресурса изменять межремонтный период, мероприятия технического обслуживания и ремонта для горной машины. Численное моделирование рабочих процессов, происходящих в данных машинах, является эффективным инструментом, позволяющим с высокой точностью оценивать вклад различных факторов в интенсивность расходования их ресурса.

Ключевые слова: карьерный экскаватор, DEM, численное моделирование, параметры взаимодействия материалов, сыпучая среда

Для цитирования: Плащинский В.А., Шешукова Е.И., Салимов А.Э., Шибанов Д.А., Иванов С.Л. Численное моделирование процесса копания ковшом экскаватора методом дискретных элементов. *Горная промышленность*. 2025;(4):144–150.
<https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-144-150>

Numerical simulation of the digging process with an excavator bucket using the discrete element method

V.A. Plaschinsky, E.I. Sheshukova✉, A.E. Salimov, D.A. Shibanov, S.L. Ivanov

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation

✉ katiger@mail.ru

Abstract: The paper examines the digging process with an excavator bucket. Numerical simulations of the excavation process with variable chip size, particle size and bulk density of the rocks were carried out in order to establish these parameters for the digging force and the power. As the result of numerical experiments, the adequacy and accuracy of the numerical model have been confirmed using the criterion of compliance of the values of the digging force and the volume of the scooped rock with the physical model. The functional dependencies have been determined for calculating the values of the digging force and the power depending on these parameters. It has been established that, based on the energy approach, it is possible to change the time between overhauls and the type of MRO operations for a mining machine depending on the intensity of the resource utilization. Numerical modeling of the work processes taking place in these machines is an effective tool that makes it possible to accurately assess the contribution of various factors to the intensity of their resource utilization.

Keywords: mine excavator, DEM, numerical modeling, material interaction parameters, loose medium

For citation: Plaschinsky V.A., Sheshukova E.I., Salimov A.E., Shibanov D.A., Ivanov S.L. Numerical simulation of the digging process with an excavator bucket using the discrete element method. *Russian Mining Industry*. 2025;(4):144–150. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-144-150>

Введение

Машины и оборудование, используемые при проведении горных работ подвержены влиянию деградационных процессов, степень этого влияния определяется нагрузками как на всю машину, так и на конкретные узлы [1–3]. Величина нагрузок зависит от условий эксплуатации. Определив изменение величины нагрузки от конкретного параметра, определяющего это нагружение, можно, используя энергетический подход, оценить вклад исследуемого фактора на интенсивность и величину изменения наработки машины [4–6]. Это позволяет корректировать периодичность работ по техническому обслуживанию и ремонту [7–9]. Произвести оценку этого вклада возможно посредством численного моделирования, например, методом дискретных элементов DEM (Discrete elements method), позволяющим исследовать различные объекты и явления без проведения натурных экспериментов, которые часто являются дорогостоящими и труднореализуемыми [10–12].

В горном деле численные методы компьютерного моделирования нашли свое широкое применение [13–15], например, для проверки разработанных теоретических моделей различных процессов в горном производстве [16–18]. Подобные исследования [19–21] также посвящены установлению влияния рабочих параметров на эффективность функционирования горных машин.

Методология

Следует констатировать, что численное моделирование без привязки к реальным физическим процессам само по себе малоинтересно, поскольку отсутствует база для сравнения и оценки адекватности реалиям. С учетом этого факта авторами предварительно было проведено физическое моделирование процесса копания ковшом экскаватора модельной породы в лабораторных условиях [22].

Применительно к исследованию были определены критерии подобия физической модели: линейный коэффициент $k_l = 20$, масштабный коэффициент объемного веса $k_r = 4$, масштабный коэффициент сцепления $k_c = 80$ и масштабный коэффициент усилия $k_F = 32000$. Модель включала в свой состав ковш экскаватора ЭКГ-18Р, прямолинейный участок траектории движения ковша, гранулометрический состав модельной породы и ее насыщенную плотность [23–25].

В результате проведенных шести серий лабораторных экспериментов были установлены максимальные усилия копания F_m на ковше экскаватора, возникающие в процессе экскавации им породы в функции толщины стружки h [22].

Линейная аппроксимация результатов экспериментов, имеющая коэффициент детерминации $R^2 = 0,99$, позволяет получить функциональную зависимость изменения величины усилия копания ковшом экскаватора модельной породы для заданной толщины стружки в виде выражения:

$$F_{\text{чм}}(h, \gamma, d) = 416,34h + 0,78. \quad (1)$$

Высокий коэффициент детерминации говорит об адекватности описания аппроксимированной функцией реальным процессам.

Таким образом, в качестве базы для сравнения с результатами численного моделирования авторами была взята представленная выше функция (1), для чего в программе Ansys Rocky Dem были сформированы условия воспроизведения описанных выше лабораторных экспериментов.

Продолжительность численного моделирования составила 7,5 с. В качестве элемента для создания сетки конеч-

ных элементов геометрической модели ковша экскаватора был выбран тетраэдр с размером стороны 0,01 м. В качестве критерия обеспечения качества сетки руководствовались наличием минимум 10 элементов вдоль ребра и 5 поперек [26–28].

Форма частиц при моделировании принималась сферической с определенным в зависимости от крупности радиусом, при этом соотношение частиц различного диаметра выбиралось для каждой серии численных экспериментов свое по схеме: $(d1/(x1) + d2/(x2) + d3/(x3) + d4/(x4))$. Здесь d – диаметр сферы, а x – объемное содержание этих частиц в смеси, выраженное в относительных единицах так, чтобы сумма x составляла 100%. На рис. 1, где представлена фасетированная модель процесса, сферы разного диаметра указаны различными цветами.

Для базового варианта при численном моделировании размер преобладающей фракции составил 0,005 м, а соотношение соответствовало схеме: + 0,005(50%) + 0,004(40%) + 0,003(10%). Для расчета контактного взаимодействия сферических частиц в программе была выбрана модель контактных сил – Hertzian spring dashpot и Mindlin Derewicz, в качестве модели сопротивления частиц качению – модель Type C [29–31]. Для достижения сходимости результатов численного моделирования и физической модели определены лабораторно и заданы программно параметры взаимодействия контактных пар: коэффициент статического трения – для контактной пары «частицы – ковш экскаватора» – 0,44; «частицы – частицы» – 0,36; коэффициент восстановления – 0,40 и 0,55 соответственно, коэффициент сопротивления частиц качению – 0,4 [32–34].

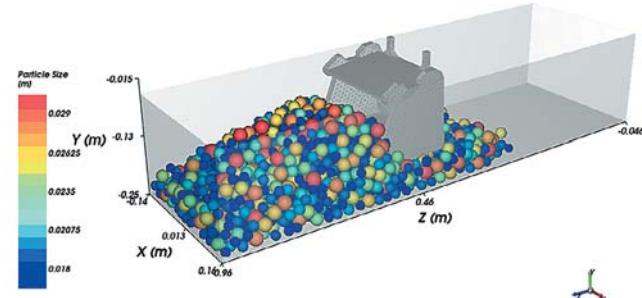


Рис. 1
Фасетированная модель
процесса копания ковшом
модельной породы

Fig. 1
A faceted model of the model
rock digging process with a
bucket

Для обеспечения адекватности цифровой модели реальным условиям физического моделирования были выбраны два критерия: соответствие усилий на ковше при копании F_m и величины массы m зачерпнутого в ковш материала при каждой величине снимаемой стружки h: 0,007 м; 0,014 м; 0,018 м; 0,023 м; 0,032 м; 0,039 м и плотности экскавируемого материала 400 кг/м³ [34; 35]. В процессе численного моделирования собиралась статистика взаимодействия частиц породы с моделью ковша экскаватора, для чего был активирован модуль сбора статистики столкновений «Boundary Collision Statistics». Количество взаимодействующих между собой элементов в численном эксперименте составляет $2,5 \cdot 10^5$ сфер, продолжительность одного расчета – 48 ч, где определялись средние нормальные и тангенциальные нагрузки, на основании которых получены полные усилия F_{чм}.

Полученные в результате численного моделирования усредненные значения усилия копания и массы зачерпнутого ковшом материала имеют хорошее совпадение в пределах от 2 до 8%, что говорит о достаточной адекватности численного моделирования реальным процессам. Тогда правомочно считать, что $F_{\text{чм}} = F_m$.

Результаты численного моделирования

Получив таким образом мощный инструмент исследования, целесообразно применить его для случаев, когда физический эксперимент провести практически не представляется возможным, а именно оценить раздельно влияние насыпной плотности и гранулометрического состава на величину копания ковшом экскаватора.

Для установления влияния насыпной плотности на усилие при прочих равных условиях на основе созданной модели был проведен численный эксперимент, в рамках которого программно дискретно изменялась плотность породы в сравнении с базовой величиной: 340 кг/м³ (-15%), 428 кг/м³ (+7%), на 460 кг/м³ (+15%), 520 кг/м³ (+30%).

Результаты численного эксперимента представлены на рис. 2.

Полученные данные аппроксимированы показательной функцией для принятых ранее дискретных значений стружки. Все полученные функции имеют высокий коэффициент детерминации, что говорит о наличии устойчивой связи теоретического описания реальным процессам.

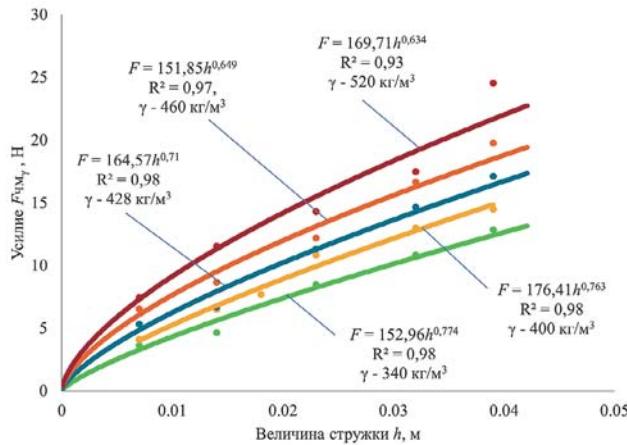


Рис. 2
Изменение величины усилия копания $F_{\text{чм}\gamma}$ от величины стружки h при заданной насыпной плотности

Fig. 2
The dependence of the digging force $F_{\text{чм}\gamma}$ on the chip size h at a given bulk density

Для выявления универсальной закономерности изменения усилия копания от величины стружки при различных значениях насыпной плотности аппроксимируем полученные точки численного моделирования при одинаковых значениях стружки выражением вида $f(F) = A_\gamma h^n$. В результате проведенных преобразований получим функцию изменения величины усилия копания от значений плотности γ породы и величины стружки h :

$$F_{\text{чм}d} = 519,7 \cdot 10^3 d^{1,56} h^{1,06d^{0,065}}$$

Приводя выражение к относительному виду и относя эту функцию к функциональной зависимости для базового варианта, получим функцию изменения усилия копания от плотности экскавируемого материала:

$$K_d = \frac{F_{\text{чм}d}}{F_m} = \frac{(0.048\gamma + 142.16)h^{(0.99-7 \cdot 10^{-4}\gamma)}}{416.34h + 0.78}. \quad (2)$$

Аналогичные численные эксперименты были проведены применительно к различной крупности экскавируемого материала с неизменной плотностью смеси (рис. 3).

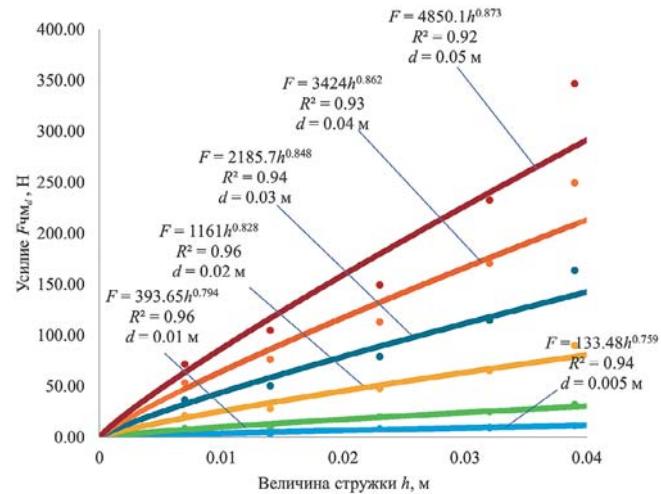


Рис. 3
Изменение величины усилия копания $F_{\text{чм}d}$ от величины стружки h при заданной крупности

Fig. 3
The dependence of the digging force $F_{\text{чм}d}$ on the chip size h at a given particle size distribution

Получим функцию изменения величины усилия копания от значений крупности d породы и величины стружки h :

$$F_{\text{чм}d} = 519,7 \cdot 10^3 d^{1,56} h^{1,06d^{0,065}}.$$

Приводя выражение к относительному виду и относя эту функцию к функциональной зависимости для базового варианта, получим функцию изменения усилия копания от крупности экскавируемого материала:

$$K_d = \frac{F_{\text{чм}d}}{F_m} = \frac{519,7 \cdot 10^3 d^{1,56} h^{1,06d^{0,065}}}{416.34h + 0.78}. \quad (3)$$

Теперь, базируясь на выражениях (1), (2) и (3), усилие копания ковшом экскаватора применительно к реальным условиям эксплуатации, но с измененной насыпной плотностью и размером куска при известной базовой функциональной зависимости F_m , можно оценить, воспользовавшись выражением:

$$F = F_{\text{чм}}(h) K_\gamma(\gamma, h) K_d(d, h) K_F. \quad (4)$$

Для проверки адекватности полученных результатов реально протекающим процессам был поставлен дополнительный физический эксперимент для материала типа керамзит с насыпной плотностью 275 кг/м³ и крупностью 0,005–0,01 м при величине снимаемой стружки 0,034 м. Усилие копания при скорости движения ковша 0,5 м/с составило 12,06 Н, для этих же условий усилие, полученное по выражению (4) при $K_F = 1$ (условие лабораторного эксперимента), составило 13 Н, что подтверждает правильность принятых решений и возможность применения представленного подхода.

На основании представленных выше функциональных зависимостей были получены усилия копания ковшом экскаватора

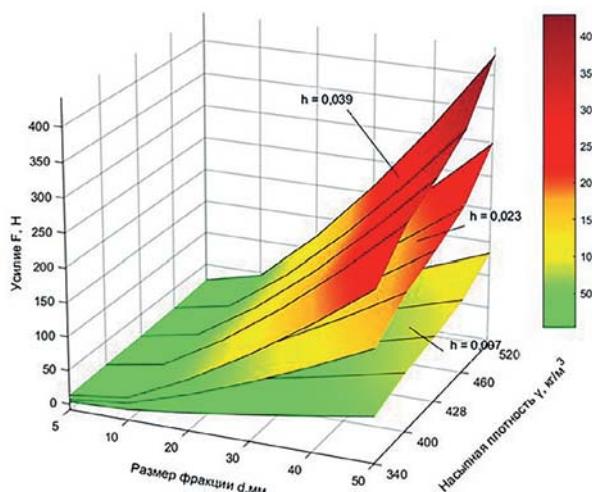


Рис. 4
Изменение величины усилия копания $F_{чм}$ от насыпной плотности и крупности при заданной величине стружки h

Fig. 4
The dependence of the digging force $F_{чм}$ on the bulk density and particle size distribution at a given chip size h

каватора различных насыпной плотности и гранулометрического состава модельной породы, которые представлены в виде 3D-графиков на рис. 4.

Как видно из графика, наиболее резкое увеличение усилия копания наблюдается для стружки 0,039 м при увеличении насыпной плотности и размера фракции, например, усилие копания для стружки 0,039 м при размере 0,05 м и насыпной плотности 520 кг/м³ в среднем 3,5 раза выше в сравнении со стружкой 0,007 м.

Обсуждение результатов

На основании собранной в результате моделирования статистики усилий и перемещений частиц при копании были определены зависимости изменения мощности для рассматриваемых случаев. Так, функция затрат мощности от диаметра куска в цикле копания представлена выражением (5) с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,87$:

$$\begin{aligned} P_{td} = & (8 \cdot 10^{-5} d^{1.80}) t^4 - (2,9 \cdot 10^{-3} d^{1.5}) t^3 + \\ & + (2,3 \cdot 10^{-3} d^{1.45}) t^2 + (3,1 \cdot 10^{-3} d^{1.5}) t + \\ & + 3,1 \cdot 10^{-3} d^{2.01}. \end{aligned} \quad (5)$$

Что касается влияния на энергоемкость процесса копания насыпной плотности, то формула примет вид с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,85$:

$$P_{t\gamma} = (6,2 \cdot 10^{-3} \gamma^{0.77}) \ln t + 9 \cdot 10^{-4} d + 0,012. \quad (6)$$

Вклад авторов

В.А. Плащинский – создание цифровой модели, проведение численного эксперимента.

Е.И. Шешукова – составление алгоритма расчета, проведение физического эксперимента, проведение численного эксперимента.

А.Э. Салимов – обработка экспериментальных данных.

Д.А. Шибанов – анализ исходных и вновь полученных данных.

С.Л. Иванов – общее методическое руководство, рецензирование, написание текста статьи, корректировка.

Согласно полученным результатам можно сделать вывод, что при увеличении крупности от 0,005 м значение работы, потребной для преодоления сил сопротивления при копании, возрастает в сравнении с базовой крупностью $d = 0,005$ м в 10 ($1,67d$) и 30 ($3,75d$) раз соответственно, что говорит о степенной зависимости влияния размера куска на энергоемкость процесса. Что касается плотности, то потребная работа оказалась меньше для насыпной плотности 340 кг/м³ на 16% в сравнении с базовой 400 кг/м³, однако при увеличении плотности потребная работа также увеличивается на 21, 25 и 32% соответственно для плотностей 428, 460, 520 кг/м³.

Зная изменение величины мощности в каждый момент времени цикла, можно найти значение работы за цикл для каждого рассматриваемого условия (площадь под графиком). Определив изменение величины работы ковша при копании за цикл при рассматриваемых условиях, можно соотнести это значение с величиной работы при базовых условиях эксплуатации. Такое сравнение с опорой на энергетический подход в вопросе оценки расходования ресурса позволяет оценить интенсивность расходования ресурса в исследуемых условиях эксплуатации, откорректировать периодичность работ по техническому обслуживанию и ремонту экскаватора [35].

Заключение

На основании результатов проведенного эксперимента по физическому моделированию процесса копания породы ковшом экскаватора создана цифровая модель с условиями, соответствующими физическому эксперименту, подтверждена адекватность и точность созданной модели.

Проведена серия вычислительных экспериментов по установлению влияния величины насыпной плотности и крупности на изменение величины усилия копания при разных величинах срезаемой стружки модельной породы. По полученным результатам моделирования построены зависимости величины усилия от вышеуказанных параметров. На основе анализа полученных зависимостей выведена формула для вычисления усилия копания от трех переменных параметров: насыпной плотности и крупности породы, а также величины стружки. С применением данной формулы построен 3D-график зависимости усилия копания при варьировании вышеуказанных переменных для трех заданных величин стружки.

Определены зависимости изменения мощности копания с течением времени моделирования при варьировании насыпной плотности и крупности фракции при заданной величине стружки, на основании чего определена общая функциональная зависимость мощности копания от насыпной плотности, крупности фракции и высоты стружки. Показана возможность изменения межремонтного периода и мероприятий технического обслуживания и ремонта в зависимости от интенсивности расходования ресурса.

Authors' contribution

V.A. Plaschinsky – creation of the digital model, execution of the numerical experiment.

E.I. Sheshukova – designing of the calculation algorithm, execution of the physical experiment, execution of the numerical experiment.

A.E. Salimov – processing of the experimental data.

D.A. Shibanov – analysis of the initial and newly obtained data.

S.L. Ivanov – general methodological guidance, reviewing, writing the text of the article, revision.

Список литературы / References

1. Мякотных А.А., Иванова П.В., Иванов С.Л. Критерии и технологические требования создания мостовой платформы добычи торфяного сырья для климатически нейтральной геотехнологии. *Горная промышленность*. 2024;(4):116–120. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-116-120>
Myakotnykh A.A., Ivanova P.V., Ivanov S.L. Criteria and technological requirements for creation of a bridge platform to extract peat raw materials for climate-neutral geotechnology. *Russian Mining Industry*. 2024;(4):116–120. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-116-120>
2. Гарашенко Ж.М., Теремецкая В.А., Габов В.В. Отработка угольных целиков унифицированными выемочными модулями локальными забоями. *Горная промышленность*. 2024;(5S):151–157. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-151-157>
Garashchenko Zh.M., Teremetskaya V.A., Gabov V.V. Mining of coal pillars using unified excavation modules with local faces. *Russian Mining Industry*. 2024;(5S):151–157. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-151-157>
3. Назарычев А.Н., Дяченок Г.В., Сычев Ю.А. Исследование надежности тягового электропривода карьерных самосвалов на основе анализа отказов его функциональных узлов. *Записки Горного института*. 2023;261:363–373. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16189> (дата обращения: 29.03.2025).
Nazarychev A.N., Dyachenok G.V., Sychev Y.A. A reliability study of the traction drive system in haul trucks based on failure analysis of their functional parts. *Journal of Mining Institute*. 2023;261:363–373. Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16189> (accessed: 29.03.2025).
4. Ilic D., Katterfeld A. Simulation of Transfer Chutes. In: McGlinchey D. (eds) Simulations in Bulk Solids Handling: Applications of DEM and Other Methods. Wiley-VCH GmbH; 2023. Chapter 2, pp. 41–77. <https://doi.org/10.1002/9783527835935.ch2>
5. Шестаков В.С., Брозовский С.Ю., Давыдов П. В. Исследование нагруженности стрелы экскаватора-драглайна. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2024;(1-1):167–178. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2024_011_0_167
Shestakov V.S., Brozovskiy S.Yu., Davyдов P.V. Excavator boom load study dragline. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2024;(1-1):167–178. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2024_011_0_167
6. Комиссаров А.П., Масленников О.А., Набиуллин Р.Ш., Хорошавин С.А. Оценка степени противодействия двигателей приводов главных механизмов карьерного экскаватора. *Горное оборудование и электромеханика*. 2022;(6):10–16. <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2022-6-10-16>
Komissarov A.P., Maslennikov O.A., Nabiullin R.S., Khoroshavin S.A. Assessment of the degree of counteraction of the drive motors of the main mechanisms of the quarry excavator. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2022;(6):10–16. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2022-6-10-16>
7. Корогодин А.С., Иванов С.Л. Оценка технического состояния опорных подшипников скольжения барабанной мельницы при эксплуатации в составе арктического комплекса горного оборудования. *Горная промышленность*. 2024;(6):144–151. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-6-144-151>
Korogodin A.S., Ivanov S.L. Assessment of the technical condition of drum mill supporting sliding bearings during operation as part of an arctic mining equipment complex. *Russian Mining Industry*. 2024;(6):144–151. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-6-144-151>
8. Ботян Е.Ю., Лавренко С.А., Пушкарев А.Е. Методика уточненного расчета межремонтного периода элементов подвески карьерных автосамосвалов посредством учета горнотехнических условий их эксплуатации. *Горная промышленность*. 2024;(1):71–76. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-1-71-76>
Botyan E.Y., Lavrenko S.A., Pushkarev A.E. Methodology for refined calculation of mean time to repair of mining dump truck suspension elements with account of mining and technical conditions of their operation. *Russian Mining Industry*. 2024;(1):71–76. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-1-71-76>
9. Громыка Д.С., Гоголинский К.В. Рекомендации по внедрению методики оценки текущего состояния коронок зубьев ковшей экскаваторов в систему технического обслуживания и ремонта. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(8):94–111. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_8_0_94
Gromyka D.S., Gogolinskiy K.V. Introduction of evaluation procedure of excavator bucket teeth into maintenance and repair: Promptse. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(8):94–111. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_8_0_94

10. Комиссаров А.П., Шестаков В.С., Набиуллин Р.Ш. Разработка цифровой модели рабочего процесса гидравлического экскаватора. В кн.: Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. тр. 18-й междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека», провод. в рамках Уральской горнопромышленной декады, г. Екатеринбург, 2–3 апр. 2020 г. Екатеринбург: УГГУ; 2020. С. 242–247.
11. Алиева Л., Жуков И.А. Повышение эффективности ударно-поворотного бурения горных пород высокой крепости совершенствованием структуры породоразрушающего безлезвийного инструмента. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2024;16(4):1681–1694. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-4-1681-1694>
Alieva L., Zhukov I.A. Upgrading rotary-percussion drilling of high - strength rocks by improving the structure of a rock-crushing blade-free tool. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2024;16(4):1681–1694. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-4-1681-1694>
12. Pervuhin D.A., Trushnikov V.E., Abramkin S.E., Hloponina V.S., Talanov N.A. Development of methods to improve stability of underground structures operation. *International Journal of Engineering*. 2025;38(2):472–487. <https://doi.org/10.5829/ije.2025.38.02b.20>
13. Muratbakeev E., Kozhubaev Yu., Yiming Y., Umar S. Symmetrical modeling of physical properties of flexible structure of silicone materials for control of pneumatic soft actuators. *Symmetry*. 2024;16(6):750. <https://doi.org/10.3390/sym16060750>
14. Kozhubaev Yu., Yang R. Simulation of dynamic path planning of symmetrical trajectory of mobile robots based on improved A* and artificial potential field fusion for natural resource exploration. *Symmetry*. 2024;16(7):801. <https://doi.org/10.3390/sym16070801>
15. Scheffler O.C., Coetzee C.J. Discrete element modelling of a bulk cohesive material discharging from a conveyor belt onto an impact plate. *Minerals*. 2023;13(12):1501. <https://doi.org/10.3390/min13121501>
16. Cleary P.W. Effect of rock shape representation in DEM on flow and energy utilisation in a pilot SAG mill. *Computational Particle Mechanics*. 2019;6(3):461–477. <https://doi.org/10.1007/s40571-019-00226-3>
17. Kolahi S., Chegeni M.J., Seifpanahi-Shabani K. Investigation of the effect of industrial ball mill liner type on their comminution mechanism using DEM. *International Journal of Mining and Geo-Engineering*. 2021;55(2):97–107. <https://doi.org/10.22059/IJMGE.2020.289423.594826>
18. Жуковский Ю.Л., Королев Н.А., Малькова Я.М. Мониторинг состояния измельчения в барабанных мельницах по результатирующему моменту на валу. *Записки Горного института*. 2022;256:686–700. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.91>
Zhukovskiy Y.L., Korolev N.A., Malkova Y.M. Monitoring of grinding condition in drum mills based on resulting shaft torque. *Journal of Mining Institute*. 2022;256:686–700. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.91>
19. Yin Z., Ma D., Li T. Effect of grinding media grading on liner wear and load behavior in a ball mill by using rocky DEM. *Lubricants*. 2024;12(10):340. <https://doi.org/10.3390/lubricants12100340>
20. Beloglazov I., Morenov V., Leusheva E., Gudmestad O.T. Modeling of heavy-oil flow with regard to their rheological properties. *Energies*. 2021;14(2):359. <https://doi.org/10.3390/en14020359>
21. Coetze C.J., Scheffler O.C. Review: The calibration of DEM parameters for the bulk modelling of cohesive materials. *Processes*. 2023;11(1):5. <https://doi.org/10.3390/pr11010005>
22. Шешукова Е.И., Плащинский В.А., Салимов А.Э., Шибанов Д.А., Иванов С.Л. Моделирование процесса копания ковшом экскаватора породы при заданной величине стружки. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2024;(S21):3–12.
Sheshukova E.I., Plaschinsky V.A., Salimov A.E., Shibanov D.A., Ivanov S.L. Simulation of the process of digging with an excavator bucket of rock at a given chip size. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2024;(S21):3–12.
23. Шибаева Д.Н., Терещенко С.В., Асанович Д.А., Шумилов П.А. К вопросу о необходимости классификации горной массы, направляемой на сухую магнитную сепарацию. *Записки Горного института*. 2022;256:603–612. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.79>
Shibaeva D.N., Tereshchenko S.V., Asanovich D.A., Shumilov P.A. On the need to classify rock mass fed to dry magnetic separation. *Journal of Mining Institute*. 2022;256:603–612. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.79>
24. Северцев Н.А., Дарьина А.Н. Применение критериев подобия при ресурсной отработке сложных технических систем и изделий. *Надежность и качество сложных систем*. 2020;(4):5–14. <https://doi.org/10.21685/2307-4205-2020-4-1>
Severtsev N.A., Daryina A.N. Application of similarity criteria for resource development of complex technical systems and products. *Reliability & Quality of Complex Systems*. 2020;(4):5–14. (In Russ.) <https://doi.org/10.21685/2307-4205-2020-4-1>
25. Дремин А.В., Великанов В.С. К вопросу о гранулометрическом составе взорванных скальных пород. *Горная промышленность*. 2023;(4):73–78. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-4-73-78>
Dremin A.V., Velikanov V.S. Regarding the particle-size composition of blasted rocks. *Russian Mining Industry*. 2023;(4):73–78. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-4-73-78>
26. Великанов В.С., Дремин А.В., Чернухин С.А., Ломовцева Н.В. Технологии нейронных сетей в интеллектуальном анализе данных гранулометрического состава взорванных пород. *Горная промышленность*. 2024;(4):90–94. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-90-94>
Velikanov V.S., Dremin A.V., Chernukhin S.A., Lomovtseva N.V. Neural network technologies in mining data on particle size distribution of muck pile rocks. *Russian Mining Industry*. 2024;(4):90–94. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-90-94>

27. Wang X., Yi J., Zhou Z., Yang C. Optimal speed control for a semi-autogenous mill based on discrete element method. *Processes*. 2020;8(2):233. <https://doi.org/10.3390/pr8020233>
28. Lvov V., Chitalov L. Semi-Autogenous Wet Grinding Modeling with CFD-DEM. *Minerals*. 2021;11(5):485. <https://doi.org/10.3390/min11050485>
29. Guo J., Roberts A.W., Jones M., Robinson P. Bulk solids flow at the hopper feeder interface with special plane flow configuration. *Powder Technology*. 2022;403:117372. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.117372>
30. Klishin S., Mikenina O. DEM generation of particle packs in the Aristotelian mechanics. *AIP Conference Proceedings*. 2021;2448:020011. <https://doi.org/10.1063/5.0073421>
31. Zhurkina D.S., Klishin S.V., Lavrikov S.V., Leonov M.G. D DEM-based modeling of shear localization and transition of geomedium to unstable deformation. *Journal of Mining Science*. 2022;58(3):357–365. <https://doi.org/10.1134/S1062739122030024>
32. Chimwani N., Bwalya M.M. Exploring the end-liner forces using DEM software. *Minerals*. 2020;10(12):1047. <https://doi.org/10.3390/min10121047>
33. Carr M.J., Roessler T., Robinson P.W., Otto H., Richter C., Katterfeld A., Wheeler C.A. Calibration procedure of Discrete Element Method (DEM) parameters for wet and sticky bulk materials. *Powder Technology*. 2023;429:118919. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.118919>
34. Coetzee C., Scheffler O.C. Comparing particle shape representations and contact models for DEM simulation of bulk cohesive behaviour. *Computers and Geotechnics*. 2023;159:105449. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2023.105449>
35. Шешукова Е.И., Шибанов Д.А., Иванов С.Л., Шишкун П.В. Оценка нагрузок приводов рабочего оборудования карьерного экскаватора (часть 2). *Горная промышленность*. 2024;(4):108–114. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-108-114>
Sheshukova E.I., Shibanov D.A., Ivanov S.L., Shishkin P.V. Assessment of loads at the working attachment of a mine shovel (Part 2). *Russian Mining Industry*. 2024;(4):108–114. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-108-114>

Информация об авторах

Плащинский Вячеслав Алексеевич – кандидат технических наук, ассистент кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-0326-4514>; e-mail: plaschinskiy_va@pers.spmi.ru

Шешукова Екатерина Игоревна – аспирант кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: katiger@mail.ru

Салимов Аббос Эркин угли – аспирант кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Шибанов Даниил Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-6203-0219>

Иванов Сергей Леонидович – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-7014-2464>; e-mail: Ivanov_SL@pers.spmi.ru

Information about the authors

Vyacheslav A. Plaschinsky – Cand. Sci. (Eng.), Assistant Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-0326-4514>; e-mail: plaschinskiy_va@pers.spmi.ru

Ekaterina I. Sheshukova – Postgraduate Student, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: katiger@mail.ru

Abbos Erkin Ugli Salimov – Postgraduate Student, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation

Daniil A. Shibanov – Cand. Sci. (Eng.), Ass. Professor, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-6203-0219>

Sergey L. Ivanov – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-7014-2464>; e-mail: Ivanov_SL@pers.spmi.ru

Article info

Received: 17.05.2025

Revised: 18.06.2025

Accepted: 20.06.2025

Информация о статье

Поступила в редакцию: 17.05.2025

Поступила после рецензирования: 18.06.2025

Принята к публикации: 20.06.2025

Выбор флотационной установки в технологии реализации комплексной очистки сточных вод угольных предприятий

Л.А. Иванова¹✉, Е.С. Михайлова¹, И.В. Тимошук¹, А.К. Горелкина¹, В.П. Иванова²

¹ Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация

² Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск, Российская Федерация

✉ lyuda_ivan@mail.ru

Резюме: Очистка карьерных вод угольных разрезов, которые характеризуются большим объемом сточных вод, низкой температурой и присутствием плохо удаляемых веществ – сульфатов, хлоридов, нитратов и ионов аммония, что значительно затрудняет выбор оптимальной технологии водоочистки, представляет собой сложную инженерную задачу. Стадия реагентной обработки исходной сточной воды предназначена для глубокого удаления из неё взвешенных и коллоидных веществ, нефтепродуктов, фосфатов и соединений тяжёлых металлов, в частности железа. Флотацию применяют при очистке сточных вод многих производств для удаления нерастворимых диспергированных примесей, которые самопроизвольно плохо отстаиваются.

Цель исследования – определение оптимальной конфигурации и режима работы флотационного оборудования для достижения максимальной эффективности очистки сточных вод угольных предприятий. В статье дано детальное описание принципов работы флотокомбайнов различных типов для очистки сточных вод угольных предприятий, а также представлена информация о результатах промышленных испытаний в реальных условиях эксплуатации. Для очистки сточных вод производительностью до 100 м³/ч рекомендуем использовать электрофлотатор гибридного типа (оптимальная установка от 1 до 4 электрофлотаторов производительностью 25 м³/ч). Для очистки сточных вод производительностью сброса свыше 100 м³/ч целесообразнее использовать напорные флотаторы производительностью от 50–100 м³/ч. Проведение испытаний помогает принять обоснованные технические и управление решения, направленные на улучшение качества очистки сточных вод и сокращение издержек предприятия.

Ключевые слова: угледобывающее предприятие, очистка сточных вод, реагентная очистка, флотокомбайны, гибридный флотатор

Благодарности: Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. №1144-р, при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, № соглашения 075-15-2022-1201 от 30.09.2022 г.

Для цитирования: Иванова Л.А., Михайлова Е.С., Тимошук И.В., Горелкина А.К., Иванова В.П. Выбор флотационной установки в технологии реализации комплексной очистки сточных вод угольных предприятий. *Горная промышленность*. 2025;(4):151–156. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-151-156>

Selection of the flotation unit as part of the technology to implement integrated wastewater treatment at coal mining operations

L.A. Ivanova¹✉, E.S. Mikhaylova¹, I.V. Timoshchuk¹, A.K. Gorelkina¹, V.P. Ivanova²

¹ Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation

² Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation

✉ lyuda_ivan@mail.ru

Abstract: Treatment of open-pit water from coal strip mines, which are characterized by large volumes of runoff water, low temperature and presence of hard-to-remove substances, i.e. sulphates, chlorides, nitrates and ammonium ions, which makes the choice of optimal water treatment technology much more difficult, is a complex engineering task. The stage of reagent treatment of the original runoff water is designed for thorough removal of the suspended and colloidal substances, petroleum products, phosphates and heavy metal compounds, in particular iron. Flotation is used for wastewater treatment in many industries to remove insoluble dispersed impurities, which are poorly settling on their own.

The purpose of the study was to identify the optimal configuration and the operating mode of the flotation equipment to achieve

the maximum efficiency of runoff water treatment at coal-mining operations. The article provides a detailed description of the operating principles of the flotation plants of different types for wastewater treatment at coal operations, as well as information on the results of the commercial tests in real operating conditions. A hybrid-type electro-flotation unit is recommended for wastewater treatment with the throughput capacity of up to 100 m³/h (the optimal plant should contain from 1 to 4 electro-flotation units with the throughput capacity of 25 m³/h each). Pressure-type flotation units with the capacity of 50-100 m³/h are more appropriate for wastewater treatment with the discharge capacity exceeding 100 m³/h. Execution of tests helps to make reasonable technical and managerial decisions aimed at improving the quality of wastewater treatment and reducing the costs of the operation.

Keywords: coal mining operation, wastewater treatment, reagent treatment, flotation plants, hybrid flotation unit

Acknowledgments: The research is conducted as part of the comprehensive scientific and technical program of a complete innovative cycle "Development and implementation of a complex of technologies in the fields of exploration and extraction of minerals, ensuring of industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing of coal raw materials with consecutive amelioration of ecological impact on the environment and risks to human life", approved by the Decree of the Government of the Russian Federation from 11.05.2022 №1144-р, agreement No. 075-15-2022- 1201 dated 30.09.2022

For citation: Ivanova L.A., Mikhaylova E.S., Timoshchuk I.V., Gorelkina A.K., Ivanova V.P. Selection of the flotation unit as part of the technology to implement integrated wastewater treatment at coal mining operations. *Russian Mining Industry*. 2025;(4):151–156. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-151-156>

Введение

Основными маркерами-загрязнителями карьерных сточных вод выступают: взвешенные вещества, тяжелые металлы (такие как железо, марганец), а также растворенные соли [1]. Выбор оптимального способа очистки определяется результатами технико-экономического анализа, ключевыми критериями которого служат степень эффективности очистки, объем капитальных вложений, размер эксплуатационных затрат и другие показатели [2].

Существующая схема очистки и сброса карьерных вод, реализованная на большинстве угледобывающих предприятий в Кузбассе, отвечает требованиям НДТ и состоит из нескольких этапов, приведенных на рис. 1 [3]. Основными недостатками в работе имеющихся очистных сооружений на угольных разрезах являются:

1. Низкая эффективность очистки по взвешенным веществам, несмотря на наличие отстойников и фильтрации воды в фильтрующую дамбу. Этап очистки – отстаивание, фильтрование. Причина недостаточной эффективности – мелкодисперсность основной части загрязнений. Пути решения для улучшения эффективности очистки – применение технологии реагентной обработки воды [4].

2. Недостаточная эффективность очистки по органическим загрязнениям (оцененных по БПК), нефтепродуктам (в ряде случаев). Этап очистки – отстаивание, фильтрование через дамбу. Причина недостаточной эффективности – пруд-отстойник с фильтрующими дамбами не является сооружением с высокой степенью очистки от органических загрязнений. Пути решения для улучшения эффективности очистки – применение технологии реагентной обработки воды, фильтрация через материалы, обладающие сорбционными свойствами, либо применение окислительных методов очистки.

3. Отсутствие эффекта очистки по нитратам, нитритам, железу общему, сульфатам, по хлоридам.

Карьерные, ливневые и талые воды с участка открытых горных работ поступают в водосборник

По водоотливным трубопроводам вода поступает в пруд-отстойник

Вода последовательно проходит через три фильтрующие дамбы, состоящие из вскрытых пород с прослойкой цеолита, с устройством георешетки, заполненной адсорбентом

Рис. 1
Схема очистки карьерных сточных вод, реализуемая на угледобывающих предприятиях Кузбасса

Fig. 1
A flow chart of open-pit wastewater treatment implemented at coal mining operations in Kuzbass

Этап очистки – отстаивание, фильтрование через дамбу. Причина – пруд-отстойник не является сооружением, способным производить очистку от растворенных компонентов. Пути решения для улучшения эффективности очистки – строительство специализированных сооружений доочистки с завершающим этапом технологической цепочки посредством технологии обессоливания и удаления истинно растворимых веществ.

Для существенного улучшения качества сбрасываемой воды требуется строительство дополнительных очистных сооружений с применением реагентной обработки воды и других методов очистки с использованием существующего отстойника в качестве регулирующего резервуара [5].

Характеристика и принцип работы установок для флотации

Флотацию применяют для удаления из сточных вод нерастворимых диспергированных примесей, которые самостоятельно плохо отстаиваются [6].

Широко распространенным в настоящее время и самым простым способом очистки сточных вод от большинства загрязнителей является реагентный метод. Суть его заключается во введении в сточные воды реагентов для наиболее полного осаждения ионов загрязнителя в виде их трудно-растворимых солей. При реагентной обработке протекают такие процессы, как нейтрализация стоков, коагуляция, флокуляция и химическое осаждение [7].

Преимуществами флотации являются: непрерывность процесса, широкий диапазон применения, небольшие капитальные и эксплуатационные затраты, простое аппаратное оформление, селективность выделения примесей, большая скорость процесса разделения, а также возможность получения шлама более низкой влажности (90–95%), высокая степень очистки (95–98%), возможность рекуперации удаляемых веществ. Процесс флотации включает насыщение стоков воздухом, уменьшение содержания поверхностно-активных веществ и легкоподверженных окислению соединений, уничтожение бактерий и микроорганизмов. Эти факторы обеспечивают благоприятные условия для эффективного осуществления дальнейших этапов водоочистки [8].

К недостаткам флотационного ме-

тода относятся: возможность его применения для удаления не всех загрязняющих веществ (только гидрофобных), необходимость применения реагентов для повышения гидрофобности загрязнителей и устойчивости флотопены, необходимость точной настройки оборудования, подающего воздух, для получения пузырьков определенного диаметра [9].

Для выбора в качестве рекомендаций внедрения флотации в технологическую линию комплексной очистки сточных вод были проведены опытно-промышленные испытания на двух пилотных мобильных установках производительностью 1 м³/ч. В одной установке установили флотатор гибридного типа от производителя Ingener Hybrid, в другой напорный флотокомбайн серии КБС (рис. 2).

Принцип работы гибридного флотатора приведен на рис. 3, в качестве особенности его работы можно выделить: использование сатурированной воды, что позволяет избежать дорогостоящих аппаратов подготовки воздуха и снизить энергозатраты. Декомпрессия сатурированной воды создает дополнительные микропузырьки, улучшающие эффективность флотации, ламинарное движение воды в пространственных элементах (вертикальных ламелях) увеличивает вероятность контакта пузырьков с флокулами. Преимуществом гибридного флотатора от производителя Ingener Hybrid является комбинация методов электрофлотации и напорной флотации, что обеспечивает повышение эффективности очистки сточных вод, эффективное удаление отложений на электродах (солей жесткости и полимерных пленок), дополнительное обеззараживание и деструкцию органических веществ за счет образования продуктов электролиза (хлор, диоксид хлора, хлорноватая кислота, пероксид водорода), улучшенную сепарацию фаз за счет использования вертикально расположенных ламелей и специальных устройств для сбора и удаления флотошлама [10]. Описание технологической линии и режимов работы, используемых в опытно-промышленной установке, приводится в [11].

Флотокомбайн серии КБС объединяет процессы механической и химической очистки, позволяя получать чистую воду с минимальным количеством оставшихся загрязнений, принцип работы приведен на рис. 4 [12]. Горизонтальный флотокомбайн оснащен последовательно расположенными отстойником и камерой флотации, конструкция выполнена в виде основного корпуса и дополнительного навесного оборудования. Внешняя сторона корпуса оборудована патрубками для подвода и вывода обрабатываемой воды, устройствами ввода растворов реагентов, выпускны-

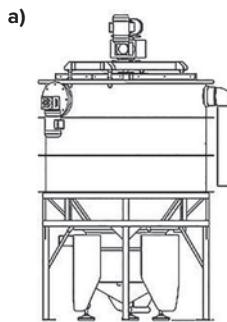


Рис. 2
Общий вид установки:
а – флотатор гибридного типа
от производителя Ingener Hybrid; б – напорный
флотокомбайн серии КБС

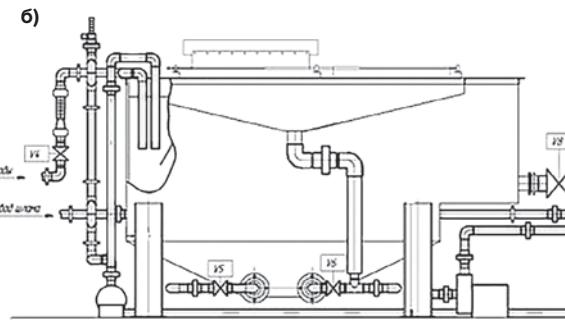


Fig. 2
An overall view of the plant:
а – a hybrid-type flotation unit
by Ingener Hybrid;
б – pressure-type flotation
unit of the KBS series

Подготовка сточной воды:	Предварительно обработанная сточная вода проходит стадию нормализации, коагуляции и флокуляции, формируя крупные агрегаты (флокулы) загрязняющих веществ.
Электролиз сатурированной воды:	Предварительно обработанная сточная вода проходит стадию нормализации, коагуляции и флокуляции, формируя крупные агрегаты (флокулы) загрязняющих веществ.
Образование газонасыщенных флокул:	Микропузырьки газа взаимодействуют с подготовленными флокулами, создавая легкие комплексы, способные подняться на поверхность воды.
Напорная флотация:	Образовавшиеся газонасыщенные флокулы продвигаются вверх и собираются на поверхности («зеркале») флотатора. Процесс поддерживается дополнительной подачей сатурированной воды в промежуточное пространство между малыми и средними обечайками.
Сбор флотошлама:	Скребковые механизмы собирают образовавшийся флотошлам и перемещают его в накопительную емкость.
Осветление воды:	После отделения флотошлама осветленная вода направляется в следующий цикл обработки или сливается в резервуар.

Рис. 3
Принцип работы флотатора гибридного типа от производителя Ingener Hybrid

Fig. 3
Operating principle of the hybrid-type flotation unit by Ingener Hybrid

ми отверстиями для сбора флотационного шлама и осажденного осадка, а также трубопроводами для введения рабочей жидкости – смеси воды и воздуха [13].

Внутреннее пространство корпуса содержит отстойник, оснащенный мешалкой для равномерного распределения содержимого и системой тонких слоёв осветления, состоящей из набора наклонённых пластин. Пластины изготовлены из гофрированного материала с параметрами длины волны 10–30 см и высоты волны 1–5 см. Камера флотации оснащена снизу форсунками для подачи рабочей жидкости, а в центральной зоне размещён фильтрующий элемент из пористой волоконной структуры с размером пор 1–100 мк. Инженерное оформление процессов очистки сточных вод с использованием флотокомбайнов серии КБС приводится в [14].

Результаты

Лабораторные эксперименты по реагентному осветлению исходной воды проводились с целью определения оптимального типа реагента и его дозы для достижения максимально возможной эффективности очистки сточных вод. Метод пробной коагуляции, помимо определения дозы коагулянта, даёт возможность наблюдать процесс флокуляции и выяснить её влияние на процесс осветления воды и осаждения осадка.

По итогам пробного коагулирования были определены рабочие растворы реагентов (NaOH, флокулянта и коагулянта), а также дозировки, которые позволяют обеспечить разделение дисперсных фаз и полное осветление промышленных сточных вод.

Подготовка исходной воды:	Грязная вода поступает во флотокамеру. Одновременно туда же вводится раствор специального реагента (обычно флокулянта или коагулянта).
Перемешивание:	Мешалка активно перемешивает воду с раствором реагента, способствуя образованию хлопьев (агрегатов загрязнений).
Образования хлопьев:	За счет взаимодействия реагента с загрязняющими веществами формируются хлопья, содержащие частицы загрязнений.
Тонкослойное осветление:	Смесь с хлопьями поступает в межполочное пространство блока тонкослойного осветления. Хлопья постепенно оседают на нижние полки, двигаясь вниз по наклонным пластинам. По мере продвижения вниз хлопья накапливаются в желобах, выполненных из волнистого материала.
Удаление осадка:	Накопленные хлопья регулярно удаляются из устройства.
Вторичная флотация:	Предварительно осветленная вода снова попадает во флотокамеру. Здесь вводятся пузырьки воздуха, которые формируют флотокомплексы ("частица загрязнения + пузырек"). Эти флотокомплексы поднимаются наверх, создавая слой флотошлама.
Окончательная очистка:	Очищенная вода, свободная от большинства загрязнений, выходит из флотокомбайна через специальный фильтр.

Рис. 4
Принцип работы флотокомбайна серии КБС

Fig. 4
Operating principle of the flotation unit of the KBS series

Усредненные результаты аналитического контроля анализа химического состава сточных вод, прошедших этап реагентной обработки и флотации, приведены в табл. 1.

Анализ химического состава исходной сточной воды выявил превышение концентрации загрязняющих веществ выше норм ПДК по двенадцати показателям: аммоний-ион, БПКп, взвешенные вещества, нефтепродукты, нитриты, сульфаты, фенол, ХПК, железо, марганец, марганец растворенный, хром общий.

Таблица 1
Усредненные данные химического состава сточных вод, прошедших этапы реагентной обработки и флотации

Сравнительный анализ очистки сточных вод на этапе реагентной очистки и флотации показал, что снижение концентрации загрязняющих веществ до норм ПДК:

– с помощью флотокомбайна серии КБС наблюдается по пяти показателям: нефтепродукты, фенол, ХПК, железо, хром общий;

– с помощью электрохимического флотатора гибридного типа наблюдается по восьми показателям: БПКп, взвешенные вещества, нефтепродукты, нитриты, фенол, ХПК, железо, хром общий.

Концентрация загрязняющих веществ выше норм ПДК в очищенной пробе наблюдается:

– после флотокомбайна серии КБС по семи показателям: аммоний-ион, БПКп, взвешенные вещества, нитриты, сульфаты, марганец, марганец растворенный;

– после электрохимического флотатора гибридного типа по четырем показателям: аммоний-ион, сульфаты, марганец, марганец растворенный.

Результаты исследования показали, что:

– достигнута высокая степень очистки от органических загрязнений. Снижение концентрации органических веществ происходит за счёт процессов коагуляции и флокуляции, а также за счёт образования активных перекисных соединений в процессе электролиза воды;

Table 1
Averaged data on the chemical composition of wastewater that has passed the stages of reagent treatment and flotation

Показатели	ПДК	Абсолютная погрешность, Δ	Исходная проба	Флотокомбайн серии КБС		Электрохимический флотатор	
				Точка после флотатора	Степень очистки, %	Точка после флотатора	Степень очистки, %
Аммоний-ионы, мг/дм ³	0,5	0,17	0,85	0,79	7,1	0,78	8,2
БПК полное, мгО ₂ /дм ³	3,0	0,5	4,5	4,5	–	0,81	82,0
Взвешенные вещества, мг/дм ³	10,0	0,9	49,5	37	25,3	3,4	93,1
pH, ед/рН	6,5–8,5	0,2	7,8	7,8	0,0	8,2	Увеличение на 5,1
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,05	–	0,2	0,05	75,0	0,05	75,0
Нитрат-ионы, мг/дм ³	40	3,3	22,15	3,1	86,0	4,3	80,6
Нитрит-ионы, мг/дм ³	0,08	–	0,184	0,184	–	0,044	76,1
Сульфат-ионы, мг/дм ³	100	55	151,5	130,0	13,9	127	16,2
Сухой остаток, мг/дм ³	1500	71	588	541	8,0	541	8,0
Фенол, мг/дм ³	0,001	0,0005	0,0013	0,0005	61,5	0,00051	60,8
Цветность, гр. цв.	20	1,9	5,1	4,3	15,7	4,8	5,9
ХПК, мгО ₂ /дм ³	30	2,0	59	24	59,3	13,7	76,8
Железо, мг/дм ³	0,1	0,04	1,55	0,083	94,6	0,064	95,9
Железо растворенное, мг/дм ³	0,1	–	Менее 0,05	Менее 0,05	–	Менее 0,05	–
Магний, мг/дм ³	40,0	6	38,5	36	6,5	33	14,3
Марганец, мг/дм ³	0,01	0,06	0,2	0,04	80,0	0,14	30,0
Марганец растворенный, мг/дм ³	0,01	0,06	0,12	0,032	71,3	0,12	–
Хлорид-ион, мг/дм ³	300,0	4	13,6	25,6	Увеличение на 88	18,3	Увеличение на 34,6
Хром общий, мг/дм ³	0,02	0,0006	0,0128	0,0049	61,7	0,0012	90,6
Хром растворенный, мг/дм ³	0,02	0,00026	Менее 0,01	Менее 0,01	–	Менее 0,001	–
Цинк, мг/дм ³	0,01	0,0032	0,008	0,008	–	0,008	–
Цинк растворенный, мг/дм ³	0,01	0,0022	Менее 0,005	Менее 0,005	–	Менее 0,005	–

Примечания: Красным выделены значения концентраций, превышающие нормы ПДК
Note: Concentrations exceeding MAC are marked in red

- достигнута высокая степень очистки от тяжелых металлов – железа, хрома. При осаждении ионов тяжелых металлов преимущественно образуются труднорастворимые гидроксидные осадки в виде основных солей металлов;
- рост концентрации хлоридов в очищенной пробе по сравнению с исходной можно объяснить дозированием коагулянта на основе оксихлорида алюминия;
- наблюдается незначительное снижение концентрации катионов аммония. Катионы аммония могут быть дополнительно окислены гипохлоритом натрия до газообразного азота, хлорида натрия и молекул воды;
- снижение концентрации взвешенных веществ на 93% говорит о хорошей коагуляции находящихся в растворе коллоидов.

Выводы

Метод флотации применяется для извлечения из сточных вод нерастворенных дисперсных примесей, характеризующихся медленным естественным оседанием. Флотационные очистные сооружения представляют собой специальные агрегаты, предназначенные для очистки хозяйствственно-бытовых и производственных сточных вод. Эти установки реализуют технологию разделения твердых и жидких фаз, что значительно улучшает качество очистки. Комплексы включают различные компоненты, включая скребковые фильтры и прочие фильтрационные модули, способные эффективно удалять крупные и мелкие фракции осадков.

Установки флотационного типа широко используются для очищения ливневых и промышленных сточных вод. Основополагающими элементами данных комплексов являются химические реагенты, обеспечивающие выделение мельчайших частиц загрязнений и формирование всплывающего слоя пены. Эта методика способствует повышению уровня чистоты обработанной воды, которую впоследствии направляют в насосные станции либо сбрасывают в природные водоёмы после завершения всех этапов очистки. Немаловажным фактором выступает грамотное конструирование трубопроводов и резервуаров, гарантирующее надёжность и продолжительный срок службы установок вне зависимости от внешних факторов.

Список литературы / References

1. Иванова Л.А., Салищева О.В., Тимошук И.В., Голубева Н.С., Горелкина А.К. Приоритетные загрязнители сточных карьерных вод в угледобывающей промышленности и способы их очистки. *Кокс и химия*. 2023;(4):44–50.
Ivanova L.A., Salishcheva O.V., Timoshchuk I.V., Golubeva N.S., Gorelkina A.K. Priority pollutants of quarry wastewater in the coal mining industry and methods of their treatment. *Koks i Khimiya*. 2023;(4):44–50. (In Russ.)
2. Иванов П.П., Пачкин С.Г., Иванова Л.А., Михайлова Е.С., Семенов А.Г. Организация повторного использования карьерных сточных вод угледобывающих предприятий. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2024;(3):190–199.
Ivanov P.P., Pachkin S.G., Ivanova L.A., Mikhaylova E.S., Semenov A.G. Wastewater reuse in open pit coal mines. *Fiziko-Tekhnicheskiye Problemy Razrabotki Poleznykh Iskopaemykh*. 2024;(3):190–199. (In Russ.)
3. Иванова Л.А., Голубева Н.С., Тимошук И.В., Горелкина А.К., Просеков А.Ю., Сапурин З.П., Медведев А.В. Оценка эффективности очистки сточных вод угледобывающего предприятия и ее влияние на загрязнение малых рек. *Экология и промышленность России*. 2023;27(1):60–65. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-1-60-65>
Ivanova L.A., Golubeva N.S., Timoshchuk I.V., Gorelkina A.K., Prosekov A.Yu., Sapurin Z.P., Medvedev A.V. Evaluation of the Efficiency of Wastewater Treatment of a Coal Mining Enterprise and its Impact on the Pollution of Small Rivers. *Ecology and Industry of Russia*. 2023;27(1):60–65. (In Russ.) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-1-60-65>
4. Иванова Л.А., Тимошук И.В., Горелкина А.К., Михайлова Е.С., Голубева Н.С., Неверов Е.Н., Утробина Т.А. Выбор сорбента для элиминации ионов железа из сточных и природных вод. *Техника и технология пищевых производств*. 2024;54(2):398–411. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2516>
Ivanova L.A., Timoshchuk I.V., Gorelkina A.K., Mikhaylova E.S., Golubeva N.S., Neverov E.N., Utrobina T.A. Removing excess iron from sewage and natural waters: selecting optimal sorbent. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2024;54(2):398–411. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2516>

Подбор подходящего типа флотатора осуществляется исходя из нескольких критериев:

- физико-химические характеристики разделяемых компонентов (размер частиц, гидрофобность, удельный вес и др.);
- требования к производительности и качеству очистки;
- энергозатратность осуществляемого процесса;
- габаритные размеры и конфигурация оборудования;
- стоимость самого оборудования и затраты на эксплуатацию.

Как показала работа опытно-промышленных установок, электрические флотаторы гибридного типа ускоряют процесс очистки сточных вод от содержащихся в них загрязнений и обеспечивают более высокую степень такой очистки по сравнению с напорными флотаторами. Однако существенным ограничением использования установок данного типа является их производительность (максимальная производительность электрофлотатора от производителя Ingener Hybrid – 25 м³/ч).

Таким образом, для очистки сточных вод производительностью до 100 м³/ч рекомендуем использовать электрофлотатор гибридного типа (оптимальная установка от 1 до 4 электрофлотаторов производительностью 25 м³/ч). Для очистки сточных вод производительностью сброса свыше 100 м³/ч целесообразнее использовать напорные флотаторы производительностью от 50–100 м³/ч.

Применение для очистки карьерных сточных вод угледобывающих предприятий популярных коагулирующих агентов, таких как полиоксихлорид алюминия и хлорное железо, даже при значительных дозировках реагентов (до 3 г/л) и дополнительном повышении щелочности среды не позволяет эффективно снизить содержание ионов аммония, сульфатов и марганца до допустимых нормативов предельно допустимой концентрации (ПДК), необходимых перед выпуском сточной воды в канализационную сеть. Таким образом, рекомендуется в технологическую схему промышленных очистных сооружений включить, помимо реагентной обработки и флотации, фильтрацию через сорбент на основе природных алюмосиликатов, а также сорбцию на активном угле.

5. Yu X., Tang Y., Pan J., Shen L., Begum A., Gong Z., Xue J. Physico-chemical processes. *Water Environment Research*. 2020;92(10):1751–1769. <https://doi.org/10.1002/wer.1430>
6. Falconi I.B.A., Junior A.B.B., Baltazar M.P.G., Espinosa D.C.R., Tenório J.A.S. An overview of treatment techniques to remove ore flotation reagents from mining wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2023;11(6):111270. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111270>
7. Берёза И.Г., Волкова Т.А., Шацкова Е.И. Применение флокулянтов для очистки сточных вод горнодобывающих предприятий. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2025;(1):276–283.
Beryoza I.G., Volkova T.A., Shatckova E.I. Application of flocculants for mining wastewater treatment. *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2025;(1):276–283. (In Russ.)
8. Joni I.M., Sofia D.R., Sulistio E., Azhary S.Y., Wibawa B.M., Panatarani C. Flotation of suspended solid by introducing coagulant and fine bubbles in the mobile wastewater treatment plant. *Journal of Physics: Conference Series*. 2022;2344:012007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2344/1/012007>
9. Красавцева Е.А., Максимова В.В., Макаров Д.В., Маслобоев В.А. Методы очистки сточных вод горнопромышленных предприятий от взвешенных веществ. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2022;(3):136–146. <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20220314>
Krasavtseva E.A., Maksimova V.V., Makarov D.V., Maslboeov V.A. Removal of suspended solids from industrial wastewater. *Journal of Mining Science*. 2022;58(3):466–475. <https://doi.org/10.1134/s1062739122030140>
10. Рыбин П.А. Гибридный флотатор. Патент RU229965U1. Российская Федерация. Опубл. 06.11.2024.
11. Неверов Е.Н., Михайлова Е.С., Тимошук И.В., Схаплок Р.Ю. Анализ проекта мобильной установки физико-химической очистки сточных вод угольных предприятий. *Ползуновский вестник*. 2024;(3):191–199. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.028>
Neverov E.N., Mikhaylova E.S., Timoshchuk I.V., Skhaplok R.Yu. Analysis of the project of a mobile installation of physico-chemical wastewater treatment of coal enterprises. *Polzunovskiy Vestnik*. 2024;(3):191–199. (In Russ.) <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.028>
12. Ксенофонтов Б.С., Козодаев А.С., Таранов Р.А., Виноградов М.С. Флотокомбайн для очистки сточных вод. *Кадры инновационного развития*. 2022;(2):49–57.
Ksenofontov B.S., Kozodaev A.S., Taranov R.A., Vinogradov M.S. Flotation machine for wastewater treatment. *Personnel Component of Innovative Development*. 2022;(2):49–57. (In Russ.)
13. Ксенофонтов Б.С. Флотокомбайн для очистки сточных вод. Патент RU218517U1. Российская Федерация. Опубл. 29.05.2023.
14. Ксенофонтов Б.С., Козодаев А.С., Таранов Р.А., Виноградов М.С., Сеник Е.В. Инженерное оформление процессов очистки сточных вод с использованием флотокомбайнов серии КБС. *Экология и промышленность России*. 2022;26(11):4–7. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-11-4-7>
Ksenofontov B.S., Kozodaev A.S., Taranov R.A., Vinogradov M.S., Senik E.V. Engineering design of wastewater treatment processes using flotation combines of the KBS series. *Ecology and Industry of Russia*. 2022;26(11):4–7. (In Russ.) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-11-4-7>

Информация об авторах

Иванова Людмила Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности, Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-4103-8780>; e-mail: lyuda_ivan@mail.ru

Михайлова Екатерина Сергеевна – кандидат химических наук, директор Институтаnano-, bio-, информационных, когнитивных и социогуманитарных технологий, доцент кафедры техносферной безопасности, Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-0673-0747>; e-mail: e_s_mihaylova@mail.ru

Тимошук Ирина Вадимовна – доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности, Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-1349-2812>; e-mail: irina_190978@mail.ru

Горелкина Алена Константиновна – доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности, Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-3782-2521>; e-mail: alengora@yandex.ru

Иванова Вера Павловна – студент, Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0008-0046-5701>; e-mail: ianova.vera@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 04.05.2025
Поступила после рецензирования: 24.06.2025
Принята к публикации: 25.06.2025

Information about the authors

Ludmila A. Ivanova – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-4103-8780>; e-mail: lyuda_ivan@mail.ru

Ekaterina S. Mihaylova – Cand. Sci. (Chem.), Director, Institute of Nano-, Bio-, Information, Cognitive and Socio-Humanitarian Technologies, Associate Professor, Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-0673-0747>; e-mail: e_s_mihaylova@mail.ru

Irina V. Timoshchuk – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-1349-2812>; e-mail: irina_190978@mail.ru

Alena K. Gorelkina – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-3782-2521>; e-mail: alengora@yandex.ru

Vera P. Ivanova – Student, Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0008-0046-5701>; e-mail: ianova.vera@mail.ru

Article info

Received: 04.05.2025

Revised: 24.06.2025

Accepted: 25.06.2025

Экспериментально-аналитические основы взаимодействия нелинейных геомеханических и физико-химических массо-газообменных процессов в углепородных массивах

Кайсин Ван¹, Т.А. Киряева²✉

¹ Ляонинский инженерно-технический университет, г. Ляонин, Китайская Народная Республика

² Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, Российской Федерации
✉ coalmetan@mail.ru

Резюме: Рассмотрены теоретико-экспериментальные основы количественной оценки взаимодействия нелинейных геомеханических и физико-химических процессов в напряженных угленосных массивах горных пород в натурных условиях ведения горных работ с повышенным сейсмическим риском от землетрясений и массовых технологических взрывов, а также влиянием температурного и структурного факторов. Дано описание лабораторных исследований Института горного дела СО РАН поршневого механизма процессов газообмена и массопереноса. Показано, что при определенном равномерно увеличивающемся значении давления нагружения при одноосном сжатии угольного образца поток газа через него начинает увеличиваться. Получены закономерности такого увеличения газовых потоков для семи различных газов, также получен гистерезисный вид изменения интенсивности потоков газов через разномарочные угольные образцы от циклически изменяющегося давления пресса.

Ключевые слова: геомеханика, нелинейные деформационно-волновые процессы, массивы горных пород, массо-газообменные процессы, очаговые зоны, катастрофические события, угольный образец, маятниковые волны, поршневой механизм, гистерезисный вид нагружения, газопроницаемость

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №23-17-00148, <https://rscf.ru/project/23-17-00148/>

Для цитирования: Ван К., Киряева Т.А. Экспериментально-аналитические основы взаимодействия нелинейных геомеханических и физико-химических массо-газообменных процессов в углепородных массивах. *Горная промышленность*. 2025;(4):157–164. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-157-164>

Experimental and analytical foundations of interaction between non-linear geomechanical and physiochemical mass-gas exchange processes in coal masses

Kaixing Wang¹, T.A. Kiryaeva²✉

¹ Liaoning Technical University, Liaoning, People's Republic of China

² N.A. Chinakal Institute of Mining of the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation
✉ coalmetan@mail.ru

Abstract: The theoretical and experimental foundations for quantitative assessment of the interaction between non-linear geomechanical and physicochemical processes are considered in stressed coal-bearing rock masses under natural mining conditions with an increased seismic risk from the earthquakes and large-scale technological blasts, as well as the influence of the temperature and the structural factors. A description is given of laboratory research into the piston mechanism of gas exchange and mass transfer processes that was performed by the Institute of Mining of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. It is shown that at a certain uniformly increasing value of the loading pressure under uniaxial compression of a coal sample, the gas flow through it begins to increase. The patterns of such an increase in the gas flows for 7 different gases were obtained as well as a hysteresis view of the changes in the intensity of gas flows through samples of different coal grades depending on the cyclically changing press load.

Keywords: geomechanics, non-linear deformation-wave processes, rock masses, mass-gas exchange processes, focal zones of catastrophic events, coal sample, pendulum waves, piston mechanism, hysteretic type of loading, gas permeability

Acknowledgments: The study has been supported by the Russian Science Foundation, Grant No. 23-17-00148, <https://rscf.ru/en/project/23-17-00148/>

For citation: Wang K., Kiryaeva T.A. Experimental and analytical foundations of interaction between non-linear geomechanical and physicochemical mass-gas exchange processes in coal masses. *Russian Mining Industry*. 2025;(4):157–164. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-157-164>

Введение

Роль горнодобывающего комплекса России в стратегии развития базообразующих энергетического, горно-металлургического и химико-технологического направлений в промышленности общеизвестна, равно как и необходимость обеспечения устойчивого их функционирования на длительную перспективу. Одной из тенденций развития горнодобывающей промышленности в мире является проведение горных работ на все более глубоких (часто более 1000 м) горизонтах. Развитие горных работ по освоению более глубоких горизонтов залегания полезных ископаемых нередко сопровождается ростом температур и уровня горного давления. Это сопряжено с возникновением катастрофических событий в виде горных ударов, внезапных выбросов породы, угля и газа, техногенных землетрясений, взрывов метана, подземных пожаров и проч., наносящих большой социально-экономический и экологический ущерб.

Исследования этих процессов, выполненные в Институте горного дела (ИГД) СО РАН [1], в общей своей совокупности направлены на углубление понимания физической сущности фундаментальных законов, лежащих в основе геомеханических и физико-химических процессов, определяющих эффективность и безопасность освоения угольных месторождений, а также на всестороннее изучение поршневого механизма процессов газообмена и массопереноса.

Современный научный задел для изучения взаимодействия нелинейных геомеханических и физико-химических массо-газообменных процессов в напряженных угленосных массивах горных пород

Глубина является комплексным отражением уровня напряженности горного массива, состояния и свойств самой окружающей породы, при этом начинают проявляться не изученные ранее нелинейные геомеханические свойства горных пород.

В последние годы в ИГД СО РАН разрабатываются теоретико-экспериментальные основы количественной оценки взаимодействия нелинейных геомеханических и физико-химических процессов в напряженных угленосных массивах горных пород в натурных условиях ведения горных работ с повышенным сейсмическим риском от землетрясений и массовых технологических взрывов, а также влиянием температурного и структурного факторов.

Проведен комплекс лабораторных исследований угольных образцов Кузбасса на одноосное жесткое сжатие до разрушения с привлечением геомеханических и физико-химических процессов (рис. 1).

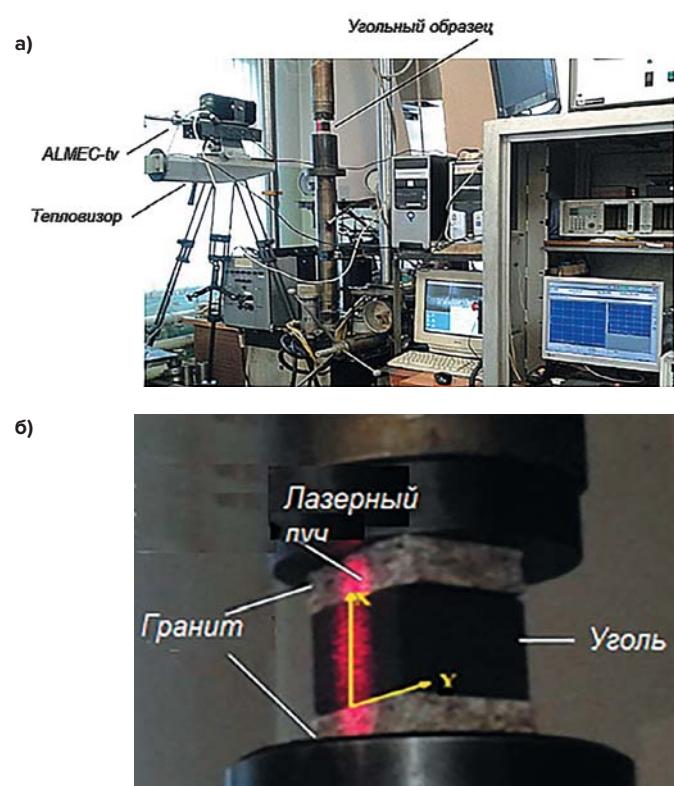


Рис. 1
Лабораторная установка (а) для исследования нелинейных упругих волн маятникового типа и кубический образец уголь (б) марки К Березово-Бирюлинского месторождения (Кузбасс)

Fig. 1
A laboratory setup (a) for studying non-linear elastic waves of the pendulum type and a cubic sample of the K-Grade coal (б) from the Berezovo-Biryulinsky deposit (Kuzbass)

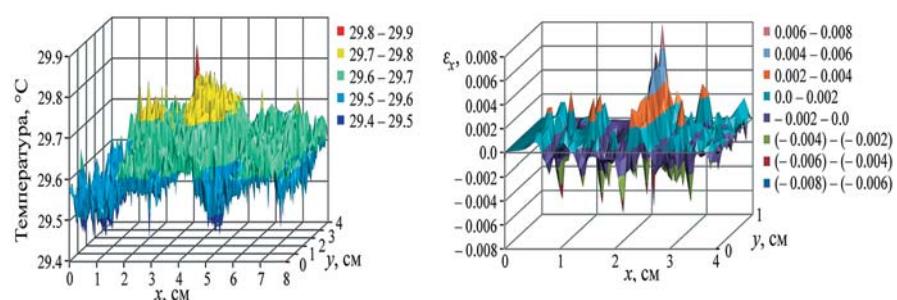


Рис. 2
Трехмерные диаграммы распределения:
а - температуры в угле и граните перед видимым разрушением испытуемого угольного образца ($t = 240^{\circ}\text{C}$, $s = 12 \cdot 10^6 \text{ Па}$);
б - распределение микродеформаций по сканируемой поверхности угольного образца при задаваемых прессом напряжениях непосредственно перед его разрушением

Fig. 2
3D distribution diagrams:
a - temperature in coal and granite before visible failure of the tested coal sample ($t = 240^{\circ}\text{C}$, $s = 12 \cdot 10^6 \text{ Pa}$);
б - distribution of micro-deformations on the scanned surface of the coal sample at loads created by the press immediately before its failure

Получено подобие «осциллирующих» распределений для полей температур и деформаций (рис. 2), которое связано с внутренним строением испытуемых образцов угля различных стадий метаморфизма [2].

Получены снимки картирования поверхности образца угля в моменты достижения различных уровней нагружения. Сканированный анализ поверхности показал, что деформация неоднородна с самого начала нагружения образца [2]. Несмотря на то что заданным видом нагружения угольного образца является одноосное сжатие с постоянной скоростью перемещения траверсы пресса, тем не менее в пространственно-временном поле микродеформаций по сканируемым поверхностям присутствуют области как укорочения, так и удлинения. По мере повышения напряжения они видоизменяются, отражая осциллирующие движения структурных элементов материала в стесненных условиях.

Установлено, что практически с самого начала нагружения в угольных образцах возникают низкочастотные процессы внутреннего микродеформирования, отличающиеся низкочастотным диапазоном их колебаний (0,5–5 Гц), причем их амплитуда возрастает с увеличением уровня напряжений, а скорость около 1 м/с [3]. Это означает, что при увеличении давления на угольный образец структурные отдельности угольного вещества ведут себя как микроскопические «поршни», проталкивая газ (например, метан) через угольный образец. Этим и объясняется повышение газовыделения в угольных шахтах после землетрясений.

Таким образом, выполненные экспериментально-теоретические исследования позволили доказать, что существует детерминированная связь между нелинейными деформационно-волновыми процессами, индуцируемыми природно-техногенными землетрясениями и мощными технологическими взрывами в породных массивах, в виде пакетов нелинейных упругих волн маятникового типа «квазиметрового» скоростного диапазона, и модулируемыми ими режимами повышенной газодинамической активности угольных шахт Кузбасса. Низкоскоростные (квазиметрового скоростного диапазона) группы волн маятникового типа способны индуцировать повышенную «циклическую» газообильность в угольных шахтах.

Экспериментальный стенд для комплекса лабораторных исследований угольных образцов Кузбасса на одноосное жесткое сжатие до разрушения с привлечением геомеханических и физико-химических процессов

В основу обработки экспериментальных данных была положена теория взаимодействия геомеханических и массообменных процессов в нефтяных пластах, а затем и экспериментально обнаруженный поршневой механизм возникновения нелинейных массо-газообменных процессов при испытаниях угольных образцов различного марочного состава [2–12].

В созданном авторами статьи совместно с ИФП СО РАН стенде (рис. 3) для исследования «поршневого механизма» угольные образцы вклеивались в металлические модули для проведения испытаний на специальном гидравлическом прессе, а затем одноосно нагружались до состояния, близкого к разрушению. Для этого заранее экспериментально определено предельное давление нагружения угольных образцов разных стадий метаморфизма.

Размеры и топология трещин или пор угольного вещества принимаются фиксированными («застывшими») во



Рис. 3
Фотографии стенда для
исследования «поршневого
механизма»:
а – фотография пресса;
б – металлический модуль
с угольным образцом внутри;
в – угольный образец,
вклейенный в металлический
модуль

Fig. 3
Photographic images
of the test bench for studying
the “piston mechanism”:
a - a photographic image
of the press;
б - a metal module with
a coal sample inside;
в - a coal sample glued into
a metal module

времени. Но раскрытие и закрытие берегов трещин или пор в таких геосредах – процесс, осциллирующий с практическими значимыми амплитудами и периодами. Это подтверждают и более ранние эксперименты [1; 13–20], и открытый позднее «поршневой» эффект [21], который заключается в том, что при увеличивающемся давлении нагружения угольного образца поток газа через него в некоторый момент времени начинает увеличиваться.

Вначале, при увеличении нагрузки пресса на угольный образец от нуля до давления около 6 МПа, поток газа через образец уменьшался с 85 мл/мин до 75 мл/мин, как и можно было бы предположить по логике сдавливания обычного материала (рис. 4).

Но затем (после достижения давления 6 МПа и далее) в

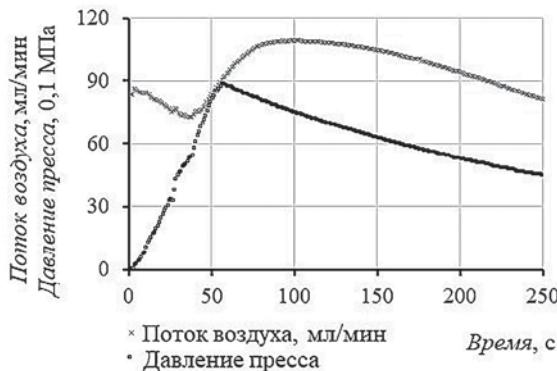


Рис. 4
Типичный график изменения потока воздуха через угольный образец и давления пресса от времени нагружения

Fig. 4
A typical graph of variations in the air flow through the coal sample and the press load depending on the loading time

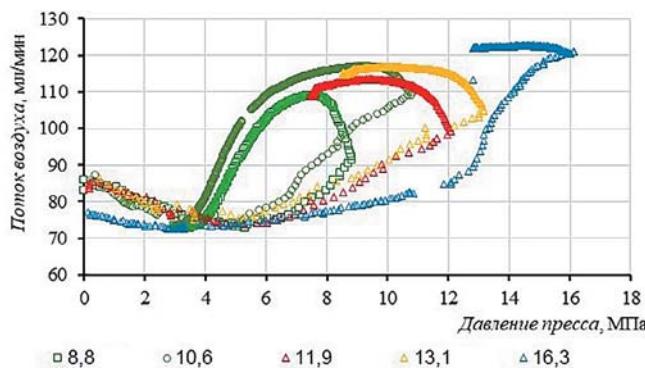


Рис. 5
Изменение газопроницаемости образцов природного угля при воздействии на них меняющегося механического давления

Fig. 5
Changes in the gas permeability of natural coal samples when exposed to varying mechanical pressure

результате «поршневого» эффекта в угольном образце поток газа через него начинал резко увеличиваться от 75 до 110 мл/мин. При нормировании потока воздуха, прошедшего через угольный образец, на давление пресса получены зависимости, показывающие, что на некотором промежутке времени при увеличении давления нагрузки поток проходящего через угольный образец воздуха также возрастает. После прекращения нагрузки пресса на угольный образец давление пресса «самопроизвольно» падало, поток газа через угольный образец через некоторый промежуток времени возвращался к первоначальному уровню, наблюдался «эффект гистерезиса» (рис. 5).

Эксперименты по определению зависимостей потока газа через один и тот же угольный образец №1 марки Ж с $V_{daf} = 31\%$ от давления пресса были проведены при различных максимальных давлениях нагрузки от пресса (с 8,8 до 16,3 МПа), без доведения угольного образца до его разрушения. Гистерезисный вид изменения интенсивности потоков газов через разномарочные угольные образцы от циклически изменяющегося давления пресса количественно демонстрирует большую роль «поршневого механизма» в развитии массо-газообменных процессов в массивах горных пород от источников различного вида

механического их возбуждения, индуцирующего нелинейные упругие волны маятникового типа.

Пропускание различных газов через угольные образцы

Вначале через угольный образец пропускался воздух и проводили измерения интенсивности его потока до и во время нагружения образца. Затем аналогичные измерения осуществлялись с водородом H_2 , гелием He, метаном CH_4 , углекислым газом CO_2 , угарным газом CO. После пропускания обозначенных газов в завершение повторно пропускался воздух при нагружении испытуемого угольного образца. Во всех угольных образцах при пропускании ерез них обозначенных газов проявляется действие «поршневого» эффекта. Аналогичные результаты получены для других угольных образцов шахт Кузбасса.

Влияние химического состава газов на их проницаемость в углепородных массивах и их геоматериалах

В обозначенных выше условиях газопроницаемость испытуемых геоматериалов, как ожидалось нами, должна была зависеть и от соотношения размеров молекул газов с размерами каналов их проницаемости. Были проведены измерения расхода газа при постоянном его входном давлении для двух образцов (табл. 1) природного угля с разных шахт Кузбасса, помещённых герметично в измерительную ячейку.

Измерения проводились последовательно для всех указанных ниже газов при входном давлении $5 \cdot 10^{-3}$ МПа. Усреднённые результаты выполненных экспериментов представлены в табл. 2.

Таблица 1
Показатели качества углей

Table 1
Indicators of the coal grades

№ угольного образца	Марка угля	Зольность, %	Выход летучих веществ, %	Влажность, %	Объемный вес, 10^3 кг/м ³
2	ГЖ	5,4	37,2	3,6	1,27
3	Ж	6,8	38,1	2,2	1,28

Таблица 2
Объёмный расход газов при одинаковом входном давлении $5 \cdot 10^{-3}$ МПа

Table 2
Volumetric gas flow rate at the same inlet pressure of $5 \cdot 10^{-3}$ MPa

Газ	Расход, мл/мин, угольный образец №2	Расход, мл/мин, угольный образец №3
Воздух сухой	138,6	212,5
Метан CH_4	149,8	216,5
Водород H_2	133,6	196,1
Двуокись углерода CO_2	141,6	214,5
Окись углерода CO	134,5	210,2
Гелий He	126,7	192,8
Воздух сухой*	133,8	207,4

Примечание. * – Осуществлено повторно – по завершении испытаний обозначенных здесь газов.

Note. * - Performed repeatedly - upon completion of tests of the gases indicated here.

Как следует из табл. 2, объемный расход обозначенных в ней газов при их пропускании через испытуемые угольные образцы №2 и №3 с входным давлением $5 \cdot 10^{-3}$ МПа и в соответствии с их химической спецификацией можно представить в виде соответствующих этим образцам упорядоченных рядов «проницаемости»:

для образца №2 –

Не [126,7] < H₂ [133,6] < CO [134,5] < Воздух [138,6] < CO₂ [146,6] < CH₄ [189,8];

для образца №3 –

Не [192,8] < H₂ [196,1] < CO [210,2] < Воздух [212,5] < CO₂ [214,5] < CH₄ [216,8].

Сравнение этих рядов показывает для них полную идентичность как по структуре химической спецификации их членов, так и по порядку следования в направлении роста уровней «проницаемости» испытуемых газов. Однако проявляется довольно неожиданное свойство: чем больше обозначенных атомов в молекулах испытуемых газов, тем выше уровень их «проницаемости». Вероятно, необходимо учитывать уровень межмолекулярного силового взаимодействия между молекулами испытуемых газов и молекулами угольного вещества.

Газоносность угольных отложений, газообильность горных выработок и газодинамические явления в угольных шахтах в большой мере зависят как от вида напряженно-деформированного состояния (НДС), так и от коллекторских свойств углей и вмещающих пород. Газоносность угольных пластов определяется объемом и распределением пор и трещин, способностью тонких пор сорбировать газ; газообильность выработок и газодинамические явления в угольных шахтах, помимо вида НДС, зависят от формы пор и ориентации трещин, а также топологической связи между ними [2; 3; 5–37].

В Институте катализа СО РАН на 19 образцах природных углей Кузбасса определялись распределения объема пор по их характерным эффективным размерам методом ртутной порометрии. Измерение порограмм вдавливания ртути проводили на приборе AutoPore IV 9500 (Micromeritics Instrument Corporation, США) в области давлений 0,10 – 60 000,00 psia (0,007 – 4300 атм). Измерение объема вдавленной ртути V в зависимости от внешнего давления P позволило определить распределение объема пор по их характерным эффективным размерам. По результатам измерений к «реальным порам» внутри частиц угля относят поры размером меньше 1000 нм. Для адсорбции газов и паров основное значение имеют микропоры, определяющие удельную поверхность угля. Они имеют диаметр «входного отверстия» 0,5–0,7 нм, соизмеримый с диаметром молекул многих газов, поэтому их еще называют молекулярными порами. Например, эффективные диаметры молекул газов, использованных в описанных выше экспериментах, имеют следующие размеры (табл. 3).

Для изучения распределения радиусов пор различных углей в работе [25] использовали изотермы адсорбции азота, а для анализа распределения пор больших радиусов – ртутный пористомер. Несмотря на то что распределение пор для обозначенных четырех типов «угля» изменяется в пределах практически всего диапазона радиусов пор, тем не менее существенное различие для разных типов угля наблюдается лишь для пор с радиусом меньше 1 нм. При менительно к изучаемому нами «поршневому механизму» важно, чтобы размеры угольных пор были соизмеримы

Таблица 3
Эффективные диаметры
молекул некоторых газов

Table 3
Effective molecule diameters
of some gases

Газ	D , нм
Водород H ₂	0,275
Гелий Не	0,218
Углекислый газ CO ₂	0,465
Метан CH ₄	0,416
Воздух	0,374

Источник: [22]. Режим доступа: <https://chem21.info/pge/185076109216083174213107214054212091058034166219/> (дата обращения: 28.04.2025).

Source: [22]. Available at: <https://chem21.info/pge/185076109216083174213107214054212091058034166219/> (accessed: 28.04.2025).

с эффективными диаметрами молекул проходящих через них газов. Диаметр молекул исследуемых нами газов менее 1 нм (см. табл. 3).

Полученные научные результаты по изучению «поршневого механизма» имеют непосредственное отношение и к описанию аналогичных процессов в целом для месторождений «углеводородного ряда»: нефтегазовым, угольным, горючих сланцев и др. Уголь из нефти имеет весьма малый объем пор с радиусом более 1 нм. В обугленной смоле приблизительно 1/3 от общего объема пор составляют поры с радиусом менее 1 нм, тогда как остальные 2/3 объема составляют поры с радиусом от 7 до 12 нм. Объем пор древесного угля имеет более однородное распределение – приблизительно 90% его принадлежит порам с радиусами от 1 до 200 нм, а остальные 10% принадлежат порам с радиусами менее 1 нм. Отмеченное выше свидетельствует с очевидностью, что «осцилирующее» движение берегов трещин в соответствии с диаметрами структурных отдельностей в маятниковом режиме способно качественно изменять «механизмы» проницаемости углеводородного геовещества согласно изменяющимся отношениям диаметров молекул жидкостей и газов к раскрывающимся или закрывающимся внутренним дефектам геоматериалов.

Выходы

На основе описанного выше и ранее проведенного комплекса лабораторных исследований по более детальному изучению недавно открытого «поршневого механизма» возникновения массо-газообменных процессов в угольных образцах появились экспериментально-аналитические основания для установления детерминированной взаимосвязи параметров нелинейных геомеханических, физико-химических и сорбционных процессов в угольных пластах, при наличии которых создаются реальные условия для возникновения выбросов угля и газа, подземных пожаров.

Поры и трещины действительно существенно влияют на газопроницаемость угольных пластов. Но, как оказывается, они не являются «фиксированными» во времени и пространстве, а способны изменяться в пространстве и времени «осцилирующим» образом. Это обусловлено «модулирующим началом» индуцирования нелинейных деформационно-волновых процессов при распространении пакетов нелинейных упругих волн маятникового типа от динамических источников разного вида (взрывы, зем-

летрясения, горные удары, внезапные выбросы угля и газа, вибровоздействие и др.).

Для аналитического описания такой «модуляции» чл.-корр. В.Н. Опарином предложен оператор соответствующей им связи Ω . Механическая «модуляция» при этом осуществляется путем изменения во времени параметров, характеризующих внутреннюю структуру геовещества, через «поршневой механизм» осциллирующего движения и изменения поверхностей объема пор и трещин, коэффициент их топологической связности [8–12; 26–37]. В операторе используются функциональные зависимости для скорости распространения маятниковых волн. Решение поставленной задачи по установлению непосредственных количественных связей между деформационно-волновыми и физико-химическими процессами, таким образом, свелось к поиску калибровочных коэффициентов для этого оператора.

Необходимые для расчетов феноменологические зависимости устанавливались на основе данных микро-nanoструктурного анализа особенностей строения и фазового состояния угольного вещества различного мачрочного состава с применением рентгенофазового анализа и масс-спектроскопии в режиме *in situ*, а также корреляционного анализа натурных данных о геомеханических свойствах угленосных толщ Кузбасса [3; 31–37].

Список литературы / References

1. Опарин В.Н., Киряева Т.А., Потапов В.П., Юшкин В.Ф. *Новые методы и информационные технологии в экспериментальной геомеханике*. Новосибирск: Изд-во СО РАН; 2021. 292 с.
2. Oparin V.N., Kiryaeva T.A., Usol'tseva O.M., Tsai P.A., Semenov V.N. Nonlinear deformation – wave processes in various rank coal specimens loaded to failure under varied temperature. *Journal of Mining Science*. 2015;51(4):641–658. <https://doi.org/10.1134/S1062739115040003>
3. Опарин В.Н., Киряева Т.А., Качурин Н.М., Юшкин В.Ф. Взаимодействия нелинейных геомеханических и газообменных процессов при отработке месторождений углеводородного ряда. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2023;(3):521–543. <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2023-3-1-521-543>
Oparin V.N., Kiryaeva T.A., Kachurin A.N., Yushkin V.F. Interactions of nonlinear geomechanical and gas exchange processes during exhaustion hydrocarbon fields. *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2023;(3):521–543. (In Russ.) <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2023-3-1-521-543>
4. Oparin V.N., Adushkin V.V., Kiryaeva T.A., Potapov V.P., Cherepov A.A., Tyukhrin V.G., Glumov A.V. Effect of pendulum waves from earthquakes on gas-dynamic behavior of coal seams in Kuzbass. *Journal of Mining Science*. 2018;54(1):1–12. <https://doi.org/10.1134/S1062739118013269>
5. Kurlenya M.V., Oparin V.N., Vostrikov V.I. Pendulum-type waves. Part I: State of the problem and measuring instrument and computer complexes. *Journal of Mining Science*. 1996;32(3):159–163. <https://doi.org/10.1007/BF02046583>
6. Kurlenya M.V., Oparin V.N., Vostrikov V.I. Pendulum-type waves. Part II: Experimental methods and main results of physical modeling. *Journal of Mining Science*. 1996;32(4):245–273. <https://doi.org/10.1007/BF02046215>
7. Kurlenya M.V., Oparin V.N., Vostrikov V.I., Arshavskii V.V., Mamadaliev N. Pendulum waves. Part III: Data of on-site observations. *Journal of Mining Science*. 1996;32(5):341–261. <https://doi.org/10.1007/BF02046155>
8. Oparin V.N. Theoretical fundamentals to describe interaction of geomechanical and physicochemical processes in coal seams. *Journal of Mining Science*. 2017;53(2):201–215. <https://doi.org/10.1134/S1062739117022031>
9. Adushkin V.V., Oparin V.N. From the alternating-sign explosion response of rocks to the pendulum waves in stressed geomedia. Part I. *Journal of Mining Science*. 2012;48(2):203–222. <https://doi.org/10.1134/S1062739148020013>
10. Adushkin V.V., Oparin V.N. From the alternating-sign explosion response of rocks to the pendulum waves in stressed geomedia. Part II. *Journal of Mining Science*. 2013;49(2):175–209. <https://doi.org/10.1134/S1062739149020019>
11. Adushkin V.V., Oparin V.N. From the alternating-sign explosion response of rocks to the pendulum waves in stressed geomedia. Part III. *Journal of Mining Science*. 2014;50(4):623–645. <https://doi.org/10.1134/S1062739114040024>
12. Adushkin V.V., Oparin V.N. From the alternating-sign explosion response of rocks to the pendulum waves in stressed geomedia. Part IV. *Journal of Mining Science*. 2016;52(1):1–35. <https://doi.org/10.1134/S106273911601009X>
13. Wang K., Pan Y., Dou L., Oparin V.N. Study on recognition of pendulum-type wave propagation in block rock mass. *Journal of Advanced Oxidation Technologies*. 2018;21(2):95–110.

14. Wang K.X., Aleksandrova N.I., Pan Y.S., Oparin V.N., Dou L.M., Chanyshhev A.I. Effect of block medium parameters on energy dissipation. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*. 2019;60(5):926–934. <https://doi.org/10.1134/S0021894419050171>
15. Oparin V.N. Pendulum waves and basics of “geomechanical thermodynamics”. *Geohazard Mechanics*. 2023;1(1):38–52. <https://doi.org/10.1016/j.ghm.2022.12.001>
16. Oparin V.N., Karpov V.N., Timonin V.V., Konurin A.I. Evaluation of the energy efficiency of rotary percussive drilling using dimensionless energy index. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2022;14(5):1486–1500. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2021.12.021>
17. Ивашин В.В. (ред.) *Геомеханические и технические основы увеличения нефтеотдачи пластов в виброволновых технологиях*. Новосибирск: Наука; 2010. 404 с.
18. Kurlenya M.V., Oparin V.N., Vostrikov V.I. Anomalously low friction in block media. *Journal of Mining Science*. 1997;33(1):1–11. <https://doi.org/10.1007/BF02765421>
19. Kurlenya M.V., Oparin V.N., Vostrikov V.I. Geomechanical conditions for quasi-resonances in geomaterials and block media. *Journal of Mining Science*. 1998;34(5):379–386. <https://doi.org/10.1007/BF02550693>
20. Vostrikov V.I., Oparin V.N., Chervov V.V. On some features of solid-body motion under combined vibrowave and static actions. *Journal of Mining Science*. 2000;36(6):523–528. <https://doi.org/10.1023/A:1016618112261>
21. Kiryaeva T.A. Piston mechanism of interaction of non-linear geomechanical and physicochemical gas exchange and mass transfer processes in coal-bearing rocks. *Geohazard Mechanics*. 2023;1(2):110–118. <https://doi.org/10.1016/j.ghm.2023.03.002>
22. Майссел Л., Глэнг Р. (ред.) *Технология тонких пленок (справочник)*. М.: Советское радио; 1977. Т. 1. 664 с.
23. Малышев Ю.Н., Трубецкой К.Н., Айруни А.Т. *Фундаментально прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов*. М.: Изд-во Акад. горн. наук; 2000. 519 с.
24. Everett D.H. Manual of symbols and terminology for physicochemical quantities and units. Appendix II: Definitions, terminology and symbols in colloid and surface chemistry. *Pure and Applied Chemistry*. 1972;31(4):577–638. <https://doi.org/10.1351/pac197231040577>
25. Рубин А. (ред.). *Химия промышленных сточных вод*. М.: Химия; 1983. 360 с.
26. Опарин В.Н., Адушкин В.В., Востриков В.И., Усольцева О.М., Мулев С.Н., Юшкян В.Ф. и др. Развитие экспериментально-теоретических основ нелинейной геотомографии. Часть I: Формулировка и обоснование задачи исследований. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019;(1):5–25. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-01-0-5-25>
Oparin V.N.1, Adushkin V.V.1, Vostrikov V.I.1, Usoltseva O.M.1, Mulev S.N.2, Yushkin V.F. et al. An experimental and theoretical framework of nonlinear geotomography. Part I: Research problem statement and justification. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2019;(1):5–25. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-01-0-5-25>
27. Опарин В.Н., Адушкин В.В., Востриков В.И., Юшкян В.Ф., Киряева Т.А. Развитие экспериментально-теоретических основ нелинейной геотомографии. Часть II: Динамико-кинематические характеристики волн маятникового типа в напряженных геосредах и сейсмо-эмиссионные процессы. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019;(11):5–26. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-11-0-5-26>
Oparin V.N., Adushkin V.V., Vostrikov V.I., Yushkin V.F., Kiryaeva T.A. Experimental and theoretical framework of nonlinear geotomography. Part II: Dynamic and kinematic characteristics of pendulum waves in high-stress geomedia and processes of seismic emission. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2019;(11):5–26. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-11-0-5-26>
28. Опарин В.Н., Адушкин В.В., Востриков В.И., Юшкян В.Ф., Киряева Т.А. Развитие экспериментально-теоретических основ нелинейной геотомографии. Часть III: Перспективные системы контроля деформационно-волновых процессов в подземных и наземных условиях ведения горных работ. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019;(12):5–29. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-12-0-5-29>
Oparin V.N., Adushkin V.V., Vostrikov V.I., Yushkin V.F., Kiryaeva T.A. Experimental and theoretical framework of nonlinear tomography. Part III: Promising systems to control deformation and wave processes in surface and underground mining. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2019;(12):5–29. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-12-0-5-29>
29. Мельников Н.Н. (ред.) *Геомеханические поля и процессы: экспериментально-аналитические исследования формирования и развития очаговых зон катастрофических событий в горнотехнических и природных системах*. Новосибирск: Изд-во Сибирского отд-ния Российской акад. наук, 2018. Т. 1. 549 с.
30. Мельников Н.Н. (ред.) *Геомеханические поля и процессы: экспериментально-аналитические исследования формирования и развития очаговых зон катастрофических событий в горнотехнических и природных системах*. Новосибирск: Изд-во Сибирского отд-ния Российской акад. наук, 2019. Т. 2. 545 с.
31. Kiryaeva T.A. *Methods of energy analysis and prediction of gas-dynamics in coal-and-methane coal seams in Kuzbass*. Riga: LAPLAMBERT Academic Publishing; 2019. 332 p.

32. Oparin V.N., Kiryaeva T.A., Gavrilov V.Yu., Shutilov R.A., Kovchavtsev A.P., Tanaino A.S. et al. Interaction of geomechanical and physicochemical processes in Kuzbass coal. *Journal of Mining Science*. 2014;50(2):191–214. <https://doi.org/10.1134/S106273911402001X>
33. Киряева Т.А., Опарин В.Н., Яценко Д.А. Микро-nanoструктурный анализ особенностей в строении угольного вещества в зависимости от стадий его метаморфизма. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021;(5):5–23. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_5_0_5
Kiryaeva T.A., Oparin V.N., Yatsenko D.A. Micro and nano structure analysis of coal substance versus coal ranks. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;(5):5–23. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_5_0_5
34. Oparin V.N., Kiryaeva T.A. Operator of connection between the Langmuir equation and oparin's kinematic equation for pendulum-type waves. Part I. In: Solovev D.B., Savalev V.V., Bekker A.T., Petukhov V.I. (eds) *Proceeding of the International Science and Technology Conference "FarEastCon 2021". Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol 275. Singapore: Springer; 2022, pp. 1–13. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8829-4_1
35. Oparin V.N., Kiryaeva T.A. Operator of connection between the Langmuir equation and oparin's kinematic equation for pendulum-type waves. Part II. In: Solovev D.B., Savalev V.V., Bekker A.T., Petukhov V.I. (eds) *Proceeding of the International Science and Technology Conference "FarEastCon 2021". Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol 275. Singapore: Springer; 2022, pp. 15–29. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8829-4_2
36. Oparin V.N., Kiryaeva T.A. Operator of connection between the Langmuir equation and oparin's kinematic equation for pendulum-type waves. Part III. In: Solovev D.B., Savalev V.V., Bekker A.T., Petukhov V.I. (eds) *Proceeding of the International Science and Technology Conference "FarEastCon 2021". Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol 275. Singapore: Springer; 2022, pp. 31–43. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8829-4_3
37. Опарин В.Н., Кацурина Н.М., Киряева Т.А., Потапов В.П. О проблеме разработки экспериментально-аналитических основ теории взаимодействия геомеханических и физико-химических газообменных процессов при отработке угольных месторождений. *Науки о Земле*. 2023;(3):503–521. <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2023-3-1-503-521>
Oparin V.N., Kachurin N.M., Kiryaeva T.A., Potapov V.P. On the problem of developing the experimental and analytical foundations of the theory of interaction of geomechanical and physical and chemical processes during the mining of coal deposits. *Izvestiya Tulskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2023;(3):503–521. (In Russ.) <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2023-3-1-503-521>

Информация об авторах

Ван Кайсин – доктор технических наук, профессор, Ляонинский инженерно-технический университет, г. Ляонин, Китайская Народная Республика; <https://orcid.org/0000-0001-8907-3342>; e-mail: kaixing_wang@163.com

Татьяна Анатольевна Киряева – доктор технических наук, зав. отделом экспериментальной геомеханики, Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-4159-9198>; e-mail: coalmetan@mail.ru

Information about the authors

Kaixing Wang – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Liaoning Technical University, Liaoning, People's Republic of China; <https://orcid.org/0000-0001-8907-3342>; e-mail: kaixing_wang@163.com

Tatiana A. Kiryaeva – Dr. Sci. (Eng.), Head of the Experimental Geomechanics Department, N.A. Chinakal Institute of Mining of the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-4159-9198>; e-mail: coalmetan@mail.ru

Article info

Received: 06.05.2025

Revised: 05.06.2025

Accepted: 23.06.2025

Информация о статье

Поступила в редакцию: 06.05.2025

Поступила после рецензирования: 05.06.2025

Принята к публикации: 23.06.2025

Анализ устойчивости междуэтажных и межкамерных целиков при камерной системе разработки месторождения «Майское»

В.В. Арно¹✉, Е.П. Колесниченко², И.Ю. Гарифулина¹, Н.Е. Ломакина¹

¹ Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Российская Федерация

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

✉ kobylin.s@misis.ru

Резюме: В статье представлены результаты комплексного анализа устойчивости междуэтажных и межкамерных целиков для месторождения «Майское» на основе геомеханических исследований. Рассмотрены ключевые параметры камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства, включая влияние угла падения рудного тела, глубины ведения горных работ, а также механических свойств вмещающих пород и закладочного материала на оптимальные размеры целиков. Проведены численные моделирования с использованием современных программных комплексов, позволяющие оценить напряженно-деформированное состояние массива при различных сценариях отработки. Особое внимание уделено технологическим решениям, направленным на повышение устойчивости целиков и эффективности добычи, включая выбор рациональной последовательности выемки, оптимизацию геометрии камер и параметров закладки. Показано, что угол падения залежи и глубина отработки оказывают значительное влияние на распределение нагрузок в целиках, что необходимо учитывать при проектировании систем разработки.

Приведены практические рекомендации по снижению риска обрушения и повышению безопасности ведения горных работ. Результаты исследований могут быть использованы при проектировании и эксплуатации аналогичных месторождений с камерными системами разработки и закладкой.

Рассмотрены параметры камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства, а также влияние угла падения залежи и глубины горных работ на размеры целиков. Приведены технологические решения для обеспечения устойчивости и эффективности добычи.

Ключевые слова: междуэтажные целики, межкамерные целики, геомеханические исследования, устойчивость целиков, камерная система разработки, закладка выработанного пространства, месторождение «Майское», напряженно-деформированное состояние

Для цитирования: Арно В.В., Колесниченко Е.П., Гарифулина И.Ю., Ломакина Н.Е. Анализ устойчивости междуэтажных и межкамерных целиков при камерной системе разработки месторождения «Майское». Горная промышленность. 2025;(4):165–169. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-165-169>

Analysis of the floor pillars and room fenders stability in the room-and-pillar mining system at the Mayskoye deposit

V.V. Arno¹✉, E.P. Kolesnichenko², I.Yu. Garifulina¹, N.E. Lomakina¹

¹ North-Eastern State University, Magadan, Russian Federation

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

✉ vvnika@mail.ru

Abstract: The article presents the results of a comprehensive analysis of the floor pillars and room fenders stability for the Mayskoye deposit based on geomechanical studies. The key parameters of the room-and-pillar mining system with backfilling of the excavated space are examined, including the impact of the dip angle of the ore body, the depth of mining operations, as well as the mechanical properties of the host rock and backfill material on the optimum dimensions of the pillars. Numerical modeling was performed using advanced software suites, which allowed estimating the stress-and-strain state of the rock mass under various mining scenarios. Special attention is paid to technological solutions aimed at improving pillar stability and mining efficiency, including the choice of a rational mining sequence, optimization of the room geometry and backfill parameters. It is shown that the deposit dip angle and mining depth have a significant impact on the load distribution in pillars, which should be taken into account when designing the mining systems.

Practical recommendations are provided to reduce the risk of the roof collapse and improve the safety of mining operations. The research results can be used in the design and operation of similar fields with the room-and-pillar mining and backfill systems. The paper discusses parameters of the room-and-pillar mining system with backfilling of the mined space as well as the impact of the dip angle of the ore body and the depth of the mining operations on the dimensions of the pillars. Technological solutions are presented to ensure the stability and efficiency of mining operations.

Keywords: floor pillars, room fenders, geomechanical studies, pillar stability, room-and-pillar mining system, backfilling of the mined space, Mayskoye deposit, stress-and-strain state

For citation: Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifulina I.Yu., Lomakina N.E. Analysis of the floor pillars and room fenders stability in the room-and-pillar mining system at the Mayskoye deposit. *Russian Mining Industry*. 2025;(4):165–169. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-165-169>

Введение

Разработка месторождений полезных ископаемых подземным способом требует тщательного анализа геомеханических условий для обеспечения устойчивости горных выработок. Устойчивость междуэтажных и междукамерных целиков на месторождении «определяется комплексом геомеханических и технологических факторов» [1].

Исследования показывают, что ключевое влияние на их стабильность оказывают мощность технологического междупластия, глубина горных работ и реологические свойства пород [2]. Первостепенное значение имеет комплексное изучение геологической структуры месторождения [3–6].

На основе полученных данных проектируется геометрия камер и межкамерных простенков. Важно соблюдать оптимальные размеры, которые обеспечивают необходимую устойчивость, но при этом позволяют максимально эффективно извлекать полезные ископаемые. Также критически важно учитывать напряженно-деформированное состояние пород, окружающих выработки. Это включает анализ напряжений, возникающих от выемки пород и возможного гидродинамического воздействия [7].

Одним из ключевых элементов камерной системы разработки являются целики, которые выполняют опорную функцию и предотвращают обрушение вмещающих пород. В данной статье рассматриваются расчеты устойчивости междуэтажных и междукамерных целиков для месторождения «Майское».

Методы

Математическое моделирование напряженного состояния выполняется с использованием критериев обрушения пород кровли и динамики изменения степени нагружения $C = P(t)/Q(t)$, где P – действующая нагрузка, Q – несущая способность целика [1]. Для учета объемного напряженного состояния применяется корректировка по методу Зубкова:

$$\sigma_{\text{цел}} = \sigma_{\text{техн}} \cdot k_{\text{об}}, \quad (1)$$

где $k_{\text{об}}$ – коэффициент перехода от плоской к объемной задаче [2].

Расчеты мощности междуэтажных и ширины межкамерных целиков выполнены в соответствии с «Методическими указаниями по определению размеров камер и целиков при подземной разработке руд цветных металлов». Основными параметрами, влияющими на размеры целиков, являются:

угол падения залежи (от 40 до 90°);

глубина горных работ (от 300 до 800 м);

мощность рудного тела (от 1 до 8 м).

Результаты

Результаты расчетов представлены рис. 1, 2, где приведены зависимости размеров целиков от указанных параметров.

При этом определено, что мощность междуэтажных целиков зависит от нескольких ключевых факторов:

Угол падения залежи: С увеличением угла падения залежи мощность междуэтажных целиков, как правило, уменьшается. Это связано с тем, что при более крутом угле

падения нагрузка от вышележащих пород распределяется более равномерно, что позволяет уменьшить размеры целиков [4; 5; 8–10].

Глубина горных работ: С увеличением глубины горных работ мощность междуэтажных целиков увеличивается из-за роста горного давления, требующего большей площади для поддержания устойчивости [6; 11–14].

Мощность рудного тела: Более мощное рудное тело требует большей мощности целиков для поддержания кровли и бортов выработки.

Физико-механические свойства пород: Сила сцепления и угол внутреннего трения пород влияют на расчет размеров целиков. В более крепких породах можно использовать меньшие целики [2].

Геологические условия (кровля и почва): Характер кровли и почвы, а также наличие водоносных горизонтов влияют на нагрузку на целик и его размеры [3].

Технология разработки: Способ подготовки залежи и технология выемки также влияют на размеры целиков. Например, при использовании коротких очистных забоев могут быть необходимы более мощные целики [6–8].

Представленные результаты позволяют оценить влияние различных факторов на устойчивость междуэтажных и межкамерных целиков. Увеличение глубины горных работ и мощности рудного тела приводит к необходимости увеличения размеров целиков для обеспечения их устойчивости. Угол падения залежи также оказывает влияние на размеры целиков, что связано с изменением напряженного состояния в массиве горных пород. Например, для угла падения 40° и глубины 300 м мощность междуэтажного целика составляет 6,0 м при мощности рудного тела 1 м и увеличивается до 11,5 м при мощности 8 м.

При анализе результатов расчета определено влияние угла падения, глубины, мощности рудного тела, мощности междупластия.

При увеличении угла падения залежи с 40 до 90° наблюдается уменьшение размеров целиков. Например, для глубины 500 м и мощности рудного тела 4 м:

40°: 13,0 м (междуэтажный), 6,5 м (межкамерный);

90°: 4,5 м (междуэтажный), 5,0 м (межкамерный).

Влияние глубины:

С увеличением глубины горных работ размеры целиков возрастают. Например, для угла падения 60° и мощности рудного тела 3 м:

300 м: 5,0 м (междуэтажный), 3,5 м (межкамерный);

800 м: 10,0 м (междуэтажный), 6,0 м (межкамерный).

Влияние мощности рудного тела:

Чем больше мощность рудного тела, тем крупнее требуются целики. Например, для угла падения 70° и глубины 400 м:

1 м: 3,5 м (междуэтажный), 2,5 м (межкамерный);

8 м: 7,0 м (междуэтажный), 6,0 м (межкамерный).

Ширина междукамерного целика при камерной системе разработки месторождения «Майское» зависит от нескольких ключевых факторов:

Ширина и длина камер: Ширина и длина камер напрямую влияют на размеры целиков. Большие камеры требуют более широких целиков для поддержания устойчивости.

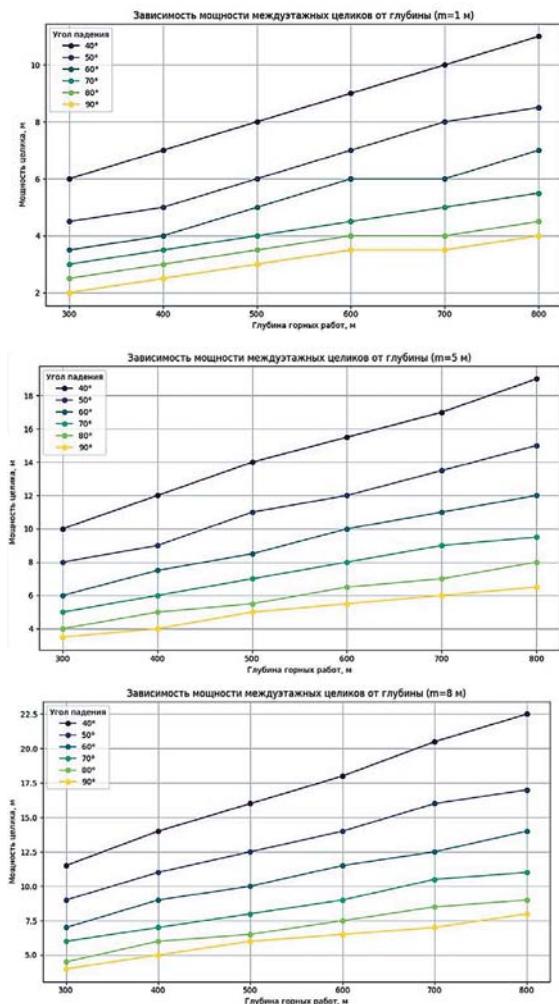


Рис. 1
Зависимость мощности междуэтажных целиков от глубины

Fig. 1
The dependence of the floor pillar thickness on the depth

Глубина горных работ: С увеличением глубины горных работ ширина междукамерных целиков увеличивается из-за роста горного давления, требующего большей площади для поддержания устойчивости [6].

Физико-механические свойства пород: Сила сцепления и угол внутреннего трения пород влияют на расчет размеров целиков. В более крепких породах можно использовать меньшие целики [4; 10].

Геологические условия (кровля и почва): Характер кровли и почвы, а также наличие водоносных горизонтов влияют на нагрузку на целик и его размеры.

Наличие межходовых целиков: Наличие межходовых целиков влияет на степень нагружения междукамерных целиков и их размеры. Разрушение межходовых целиков может привести к увеличению нагрузки на межкамерные целики [4; 10].

Влияние мощности междупластия:

1. При $h = 8$ м степень нагружения увеличивается с 0,35 до 0,7 за счет обрушения краевых частей целиков [1].

2. Формирование устойчивого свода в кровле снижает пролёт камеры, но требует увеличения высоты целиков на 2,5 м [1].

Полученные данные могут быть использованы при проектировании камерной системы разработки месторождения «Майское» для оптимизации размеров камер и целиков, что позволит повысить эффективность извлечения полезных

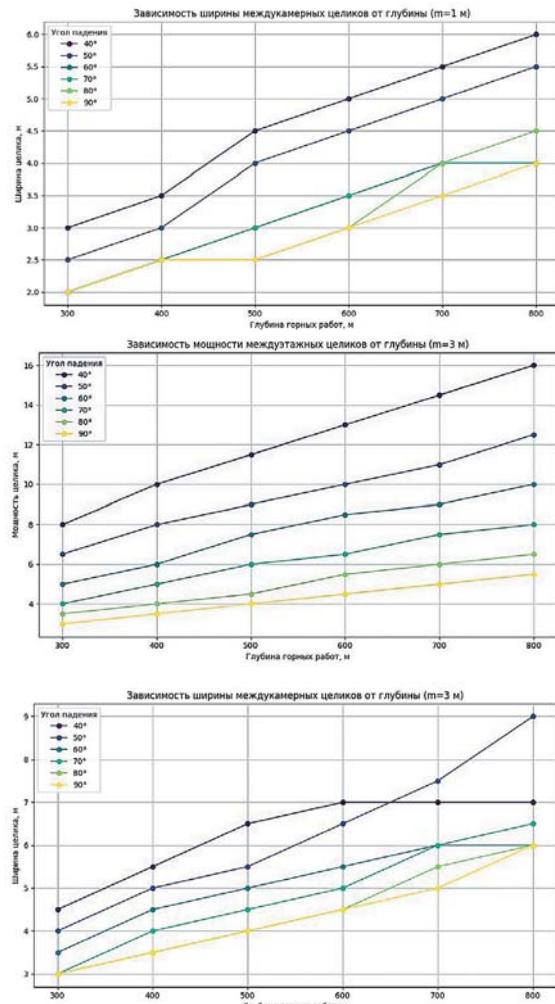


Рис. 2
Зависимость мощности междуэтажных целиков от глубины для $m = 1$ м; 3 м

Fig. 2
The dependence of the floor pillar thickness on the depth for $m = 1$ m; 3 m

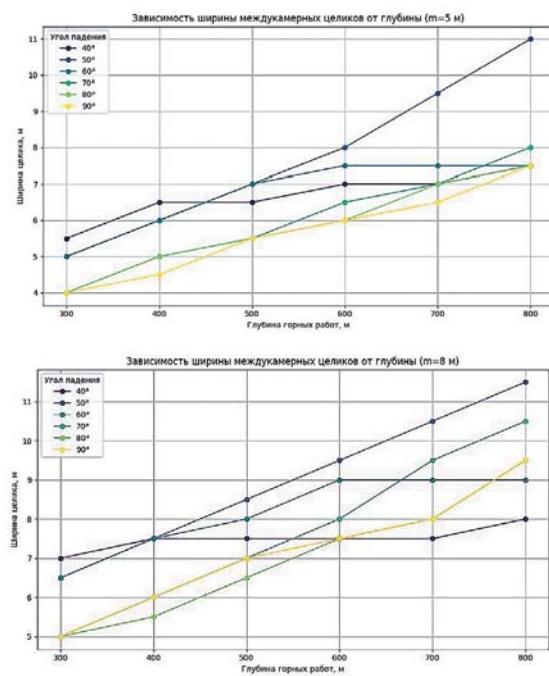


Рис. 3
Зависимость мощности междуэтажных целиков от глубины для $m = 5$ м; 8 м

Fig. 3
The dependence of the floor pillar thickness on the depth for $m = 5$ m; 8 m

ископаемых и обеспечить безопасность горных работ.

Глубина горных работ:

1. На глубине 600 м минимальная толщина междуэтажных целиков достигает 8–10 м для обеспечения устойчивости [3].

2. При мощности рудного тела 3 м допустимые напряжения в целиках снижаются на 15–20% по сравнению с 1-метровым пластом [3].

Реологические эффекты:

1. Длительная прочность целиков снижается по экспоненциальному закону $Q_{(t)} = Q_0 \cdot e^{-\lambda t}$, что приводит к постепенному росту C до критических значений [1].

Заключение**Влияние угла падения залежи:**

С увеличением угла падения залежи (от 40 до 90°) как мощность междуэтажных целиков, так и ширина межкамерных целиков, как правило, уменьшаются. Это связано с тем, что при более крутом угле падения нагрузка от вышележащих пород более равномерно распределяется, что позволяет уменьшить размеры целиков.

Влияние глубины горных работ:

С увеличением глубины горных работ (от 300 до 800 м) как мощность междуэтажных целиков, так и ширина меж-

камерных целиков увеличиваются. Это объясняется тем, что с увеличением глубины возрастает горное давление, что требует увеличения размеров целиков для обеспечения устойчивости горных выработок.

Влияние мощности рудного тела:

С увеличением мощности рудного тела (от 1 до 8 м) как мощность междуэтажных целиков, так и ширина межкамерных целиков увеличиваются. Это связано с тем, что при большей мощности рудного тела требуется большая площадь для поддержания кровли и бортов выработки.

Общие выводы:

Данные, представленные на рисунках, позволяют определить оптимальные размеры междуэтажных и межкамерных целиков в зависимости от конкретных горно-геологических условий.

При проектировании горных работ необходимо учитывать все три фактора (угол падения залежи, глубину горных работ и мощность рудного тела) для обеспечения безопасности и эффективности выемки полезного ископаемого.

Представленные данные могут быть использованы для разработки нормативных документов и рекомендаций по безопасному ведению горных работ на месторождениях с аналогичными горно-геологическими условиями.

Вклад авторов

В.В. Арно – идея исследований, формулировка конфликта текущей парадигмы и новых фактов, написание научной работы.

Е.П. Колесниченко, И.Ю. Гарифуллина – оценка результатов и коррекция написанной работы.

Н.Е. Ломакина – оценка результатов исследования, выборка и сбор материала для исследований.

Contribution

V.V. Arno – research idea, formulating the conflict between the current paradigm and the new facts, drafting the research paper.

E.P. Kolesnichenko, I.Yu. Garifulina – evaluation of the results and correction of the paper written.

N.E. Lomakina – evaluation of the research results, sampling and collection of the research material.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Список литературы / References

1. Макаров А.Б., Рассказов И.Ю., Саксин Б.Г., Ливинский И.С., Потапчук М.И. Геомеханическое обоснование параметров камерной системы разработки при переходе на подземный способ добычи руд. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2016;(3):27–38.
Makarov A.B., Livinsky I.S., Rasskazov I.Y., Saksin B.G., Potapchuk M.I. Geomechanical evaluation of roof-and-pillar parameters in transition to underground mining. *Journal of Mining Science*. 2016;52(3):438–447. <https://doi.org/10.1134/S1062739116030633>
2. Лебедева О.О. Анализ устойчивости междуупластовой потолочки в условиях отработки промышленных пластов на БКПРУ-2 ПАО «Уралкалий». *Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых*. 2018;(1):250–253.
Lebedeva O.O. Analysis of the stability of the interlayer ceiling in the conditions of mining industrial formations at BKPRU-2 of PJSC Uralkali. *Problemy Razrabotki Mestorozhdenii Uglevodorodnykh i Rudnykh Poleznykh Iskopayemykh*. 2018;(1):250–253. (In Russ.)
3. Барях А.А., Лобанов С.Ю., Ломакин И.С. Анализ изменения степени нагружения междукамерных целиков во времени на Верхнекамском месторождении солей. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2015;(4):70–82.
Baryakh A.A., Lobanov S.Y., Lomakin I.S. Analysis of time-to-time variation of load on interchamber pillars in mines of the Upper Kama potash salt deposit. *Journal of Mining Science*. 2015;51(4):696–706. <https://doi.org/10.1134/S1062739115040064>
4. Бакиров Ж.Б., Такишов А.А., Бакиров М.Ж., Михайлов В.Ф. Определение ширины целиков при камерной отработке рудного месторождения. *Труды университета*. 2021;(4):119–125. https://doi.org/10.52209/1609_1825_2021_4_119
Bakirov Zh.B., Takishov A.A., Bakirov M.Zh., Mikhailov V.F. Determination of the pillar width during the chamber mining of an ore deposit. *Universitet Enbekteri – University Proceedings*. 2021;(4):119–125. (In Russ.) https://doi.org/10.52209/1609_1825_2021_4_119

5. Харисов Т.Ф., Харисова О.Д. Геомеханическое обоснование параметров устойчивых камер и целиков в сложных горно-геологических условиях. *Известия Томского политехнического университета. Инженеринг георесурсов.* 2019;330(7):25–33. <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/7/2173>
Kharisov T.F., Kharisova O.D. Geomechanical substantiation of the parameters of stable chambers and pillars in complex mining and geological conditions. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering.* 2019;330(7):25–33. (In Russ.) <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/7/2173>
6. Watson J., Canbulat I., Wei C., Gao M. Ultimate Bearing Capacity of Weak Foundations under Coal Pillars. *Rock Mechanics and Rock Engineering.* 2024;57(11):9497–9510. <https://doi.org/10.1007/s00603-024-03999-z>
7. Сосновская Е.Л. Обоснование параметров подземной геотехнологии наклонных жил малой мощности. *Вестник Иркутского государственного технического университета.* 2015;(5):60–68. Режим доступа: https://journals.istu.edu/vestnik_irgtu/journals/2015/05/articles/09 (дата обращения: 29.03.2025).
Sosnovskaya E.L. Parameter substantiation of inclined thin ore vein underground mining technology. *Proceedings of Irkutsk State Technical University.* 2015;(5):60–68. (In Russ.) Available at: https://journals.istu.edu/vestnik_irgtu/journals/2015/05/articles/09 (accessed: 29.03.2025).
8. Павлов А.М., Семенов Ю.М., Сосновский Л.И. Определение параметров устойчивых целиков и обнажений камер при разработке наклонных жил в криогенных зонах в условиях Ирокиндинского золоторудного месторождения. *Горный информационно-аналитический бюллетень.* 2014;(10):21–27. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2014/10/21-27_Pavlov.pdf (дата обращения: 29.03.2025).
Pavlov A.M., Semenov Yu.M., Sosnovskii L.I. Evaluation of parameters of stable pillars and room roofs in underlay lode mining in cryogenic zones in terms of the Irokindinsky gold deposit. *Mining Informational and Analytical Bulletin.* 2014;(10):21–27. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2014/10/21-27_Pavlov.pdf (accessed: 29.03.2025).
9. Губанова Е.А. Анализ устойчивости междукамерного целика при залповом прорыве воды через гидроизолирующую перемычку. *Горное эхо.* 2020;(3):39–44. <https://doi.org/10.7242/echo.2020.3.7>
Губанова Е.А. Analysis of the stability of an inter-chamber rear sight during a salvo of water through a waterproofing lintel. *Gornoje Ekho.* 2020;(3):39–44. (In Russ.) <https://doi.org/10.7242/echo.2020.3.7>
10. Ермощкин Д.Н., Курманалиев К.З., Мансуров В.А., Межеловский В.И., Бабкин Е.А. Обоснование применимости мозаичной системы целиков в безрудных блоках при отработке жильных месторождений золота. *Горная промышленность.* 2023;(3):108–114. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-3-108-114>
Ermoshkin D.N., Kurmanaliev K.Z., Mansurov V.A., Mezhelovsky V.I., Babkin E.A. Justification of applicability of the mosaic pillar system in the ore-free blocks in mining of lode gold deposits. *Russian Mining Industry.* 2023;(3):108–114. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-3-108-114>
11. Хомченко В.Н., Карапес В.А., Масаев Ю.А. Зависимость расчётных размеров целиков от глубины разработки в системах с короткими очистными забоями. *Вестник Кузбасского государственного технического университета.* 2015;(1):45–50. Режим доступа: <https://journals.kuzstu.ru/article/2805.pdf> (дата обращения: 29.03.2025).
Khomchenko C.N., Karapes V.N., Masaev Yu.A. The dependence of the estimated sizes of pillars from the depths of development in systems with short treatment faces. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University.* 2015;(1):45–50. (In Russ.) Available at: <https://journals.kuzstu.ru/article/2805.pdf> (accessed: 29.03.2025).
12. Zhang S., Qiu S., Jiang Q., Wang B., Hu X., Zhang H. Numerical study of unstable failure behavior in heterogeneous rock pillar. *Engineering Fracture Mechanics.* 2023;290:109529. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2023.109529>
13. Xie H., Li C., Gao M., Zhang R., Gao F., Zhu J. Conceptualization and preliminary research on deep in situ rock mechanics. *Yanshilixue Yu Gongcheng Xuebao / Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering.* 2021;40(2):217–232. (In Chinese) <https://doi.org/10.13722/j.cnki.jrme.2020.0317>
14. Lianheng Z., Dongliang H., Shuaihao Z., Xiao C., Yibo L., A new method for constructing finite difference model of soil-rock mixture slope and its stability analysis. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.* 2021;138:104605. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2020.104605>

Информация об авторах

Арно Вероника Владимировна – кандидат технических наук, доцент Политехнического института, Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Российская Федерация; e-mail: vvnika@mail.ru

Колесниченко Ева Павловна – студент направления подготовки «Государственный и муниципальный аудит» Высшей школы государственного аудита, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация; e-mail: kolesnicheva@gmail.com

Гарифуллина Ирина Юрьевна – старший преподаватель кафедры геологии и горного дела Политехнического института, Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Российская Федерация; e-mail: irina-kajtukova@yandex.ru

Ломакина Наталья Евгеньевна – старший преподаватель кафедры горного дела Политехнического института, Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Российская Федерация; e-mail: lom_a_n@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 17.05.2025
Поступила после рецензирования: 10.06.2025
Принята к публикации: 18.06.2025

Information about the authors

Veronika V. Arno – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Polytechnic Institute, North-Eastern State University, Magadan, Russian Federation; e-mail: vvnika@mail.ru

Eva P. Kolesnichenko – Student of the field of training “State and Municipal Audit”, Higher School of Public Audit, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation; e-mail: kolesnicheva@gmail.com

Irina Yu. Garifulina – Senior Lecturer of the Department of Geology and Mining, Polytechnic Institute, North-Eastern State University, Magadan, Russian Federation; e-mail: irina-kajtukova@yandex.ru

Natalia E. Lomakina – Senior Lecturer of the Mining Department, Polytechnic Institute, North-Eastern State University, Magadan, Russian Federation; e-mail: lom_a_n@mail.ru

Article info

Received: 17.05.2025
Revised: 10.06.2025
Accepted: 18.06.2025

Исследование влияния эксплуатационно-конструкционных характеристик дизельной техники на загазованность подземных горных выработок

С.Г. Гендлер¹, А.С. Серёгин², П.А. Белехов¹✉

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² ООО «НПИ «НEDРА», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ belekhovpavel@mail.ru

Резюме: Превышение концентраций вредных компонентов выхлопных газов подземного горного дизельного транспорта с двигателями внутреннего сгорания оказывает негативное влияние на здоровье работающих под землёй. В рамках данного исследования с применением компьютерного моделирования был проведен анализ зависимости эффективности разбавления выхлопных газов горных дизельных подземных машин, оснащенных двигателями внутреннего сгорания, от положения места выброса выхлопных газов в подземной горной выработке. Основное внимание уделялось влиянию расположения выхлопной трубы, а также нагрузке на двигатель на данные параметры. В результате анализа был установлен ряд соотношений между расходами свежего воздуха и выхлопными газами для различных конфигураций выхлопной трубы на дизельной технике. Найденных отношений величин расходов воздуха к величинам расходов выхлопных газов рекомендуется придерживаться исходя из местоположения выхлопной трубы на дизельной технике для повышения эффективности проветривания тупиковой горной выработки. Найденные отношения играют важную роль для разработки решений по повышению эффективности системы проветривания, а также для улучшения безопасности и снижения вероятности негативного воздействия выхлопных газов на здоровье сотрудников, работающих под землёй.

Ключевые слова: рудничный воздух, транспортные средства с дизельным приводом, шахтные дизелевозы, выхлопные газы, концентрация загрязняющих веществ

Для цитирования: Гендлер С.Г., Серёгин А.С., Белехов П.А. Исследование влияния эксплуатационно-конструкционных характеристик дизельной техники на загазованность подземных горных выработок. *Горная промышленность*. 2025;(4):170–177. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-170-177>

Study of the effects of operational and design characteristics of diesel equipment on gas contamination in underground mine workings

S.G. Gendler¹, A.S. Seregin², P.A. Belekhov¹✉

¹ Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation

² NPI NEDRA LLC, Saint Petersburg, Russian Federation

✉ belekhovpavel@mail.ru

Abstract: Excessive concentrations of harmful exhaust gas components from underground mining diesel vehicles with the internal combustion engines have a negative impact on the health of people working underground. Within the framework of this study we analyzed the dependence of the dilution efficiency of the exhaust gases from mining diesel underground machines equipped with the internal combustion engine on the location of the exhaust gas emission source in the underground mine using computer modeling. The main focus was on the effects of the exhaust pipe location and the engine load on these parameters. As a result of the analysis, a number of relationships were established between the fresh air flow rate and the exhaust gases emission for various exhaust pipe configurations of the diesel equipment. It is recommended to adhere to the ratio of the air to exhaust gas flow rates found as the result of this research depending on the location of the exhaust pipe of the diesel vehicle in order to improve the efficiency of ventilation in dead-end mine workings. The ratios found play a key part in developing solutions to improve the efficiency of the ventilation system, as well as to improve the safety and reduce the probability of negative effects of the exhaust gases on the health of people working underground.

Keywords: mine air, diesel-powered vehicles, mine diesel locomotives, exhaust gases, concentration of pollutants

For citation: Gendler S.G., Seregin A.S., Belekhov P.A. Study of the effects of operational and design characteristics of diesel equipment on gas contamination in underground mine workings. *Russian Mining Industry*. 2025;(4):170–177. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-170-177>

Введение

Самоходная подземная техника с двигателями внутреннего сгорания играет ключевую роль в добыче полезных ископаемых. Использование дизельной подземной самоходной техники позволяет повысить производительность труда и снизить затраты на добычу полезных ископаемых [1; 2]. В то же время двигатели внутреннего сгорания (ДВС) являются одними из главных источников загрязнения атмосферы подземных горных выработок по причине выброса в атмосферу вредных выхлопных газов [3–5]. Основными компонентами выхлопных газов дизельной техники, рассмотренными в данном исследовании, являютсяmonoоксид углерода CO и оксиды азота NOx [6; 7]. Эти компоненты выхлопных газов выделены в исследовании как наиболее сложные для разбавления, если принять во внимание выбросы этих веществ и их ПДК.

Monoоксид углерода CO – ядовитый газ без вкуса и запаха, являющийся продуктом неполного сгорания дизельных двигателей [8]. Образование monoоксида углерода осуществляется в результате неполного сгорания углерода при условии недостатка кислорода и происходит в условиях сжигания различных видов топлив, таких как бензин, уголь, древесина и природный газ [9]. При наличии достаточного количества кислорода в процессе горения образуется углекислый газ CO₂ [10; 11]. С точки зрения биохимии monoоксид углерода способен соединяться с гемоглобином в крови, образуя карбоксигемоглобин. Это превращение значительно снижает способность крови переносить кислород, что может привести к гипоксии и в конечном итоге к смертельному исходу. Симптомы отравления CO могут варьироваться от легкой головной боли и головокружения до потери сознания и летального исхода при высоких концентрациях газа. Поэтому важно отслеживать уровни monoоксида углерода в помещениях, особенно в местах, где происходит сжигание топлива [12; 13].

Оксиды азота NOx – это группа газов, состоящая в большей степени из таких газов, как оксид азота NO и диоксид азота NO₂ [14; 15]. Главной причиной их появления в дизельных двигателях внутреннего сгорания является реакция между свободным азотом N, содержащимся в воздухе, и кислородом O₂ при температуре, превышающей 1500 °C [16]. К числу факторов, влияющих на уровень выбросов оксидов азота, относятся конструктивные особенности двигателя, такие как его мощность, режимы работы, а также качество топлива [17].

В современных дизельных двигателях применяются различные технологии снижения выбросов NOx, включая рециркуляцию отработавших газов (EGR) и селективную каталитическую редукцию (SCR) [18].

Selective Catalytic Reduction (SCR) – селективное каталитическое восстановление (SCR) это технологический метод, направленный на снижение выбросов таких компонентов выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания, как оксиды азота NOx. Технология заключается в добавлении раствора мочевины перед катализатором, которая при достижении температуры 200–400 °C расщепляется на аммиак NH₃ и углекислый газ CO₂. В дальнейшем NH₃ входит в реакцию с оксидами азота при каталитическом материале. Каталитический материал стандартно состоит из оксидов ванадия или платины. В результате химической реакции NH₃ с NOx образуется азот N₂ и выделяются водяные пары H₂O, которые представляют меньший вред для человеческого организма и здоровья. Степень эффективности такого технологического метода зависит от правильной концен-

трации и дозировки мочевины и поддержания необходимого температурного режима [19]. Однако для функционирования системы необходима регулярная дозаправка мочевиной, что требует дополнительных затрат и контроля со стороны пользователя. К положительным аспектам использования мочевины в SCR можно отнести снижение выбросов NOx до 90%, а также улучшение топливной экономичности техники за счет оптимизации работы двигателя и снижения температуры сгорания.

Система рециркуляции отработавших газов (EGR, Exhaust Gas Recirculation) является еще одной технологией снижения количества выбросов NOx в результате эксплуатации технических средств с дизельными двигателями внутреннего сгорания. Принцип действия EGR заключается в частичном возврате отработавших газов обратно в цилиндры двигателя. Этот процесс снижает концентрацию кислорода в камере сгорания, что приводит к снижению температуры сгорания [20]. Снижение температуры является критическим фактором, поскольку образование NOx происходит преимущественно при высоких температурах, превышающих 2000 °C. Такой метод способствует уменьшению максимальных температур в процессе сгорания, что и является причиной снижения образования оксидов азота. Системы EGR могут быть как под высоким, так и под низким давлением. К недостаткам метода можно отнести повышение выбросов углеводородов HC и оксида углерода CO, а также к образованию отложений на впускных клапанах. Таким образом, система EGR требует тщательной настройки для достижения оптимального баланса между снижением NOx и уменьшением концентраций других компонентов выхлопных газов [21].

Эти методы направлены на уменьшение концентрации оксидов азота в выхлопных газах, что является важным аспектом соблюдения экологических стандартов и снижения негативного воздействия на окружающую среду [22]. Оксиды азота в дизельных двигателях представляют собой значимую группу загрязняющих веществ, образующихся в процессе сгорания [23].

Для нормирования показателей концентрации ОГ используют такой утвержденный на законодательном уровне санитарно-гигиенический норматив, как предельно допустимая концентрация (ПДК) [24; 25]. Состав атмосферного воздуха в пределах горных выработок в условиях работы в ней автомобилей с ДВС в итоге зависит от методов проветривания и их эффективности. В условиях недостатка свежего атмосферного воздуха на большой части подземных горных работ задача обеспечения требуемых и нормативных санитарных и гигиенических условий рабочего труда – это параметр, определяющий граничные условия для активной эксплуатации машин с двигателями внутреннего сгорания [26–28]. Согласно приказу от 8 декабря 2020 года №505 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» концентрация кислорода в области рабочей зоны персонала не должна быть ниже 20% по объему, тогда как предельно допустимая концентрация (ПДК) по объему таких вредных компонентов выхлопных газов, как monoоксид углерода CO и оксиды азота NOx (в пересчете на NO₂), соответственно 0,0017 и 0,00026%¹. Данные ПДК

¹ Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности Инструкция по аэробиологической безопасности угольных шахт: Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 дек. 2020 г. №505, п. 181. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573264143> (дата обращения: 23.03.2025).

поддерживаются за счёт подачи в горные выработки свежего воздуха [29–31]. Повышенные концентрации вредных компонентов выхлопных газов способны образовывать высококонцентрированные скопления в объёме горной выработки, значения концентраций в которых значительно превышают установленные ПДК. Кроме того, вредные компоненты могут попадать в кабину транспортного средства. В настоящей работе рассматривается наиболее эффективное отношение расхода подаваемого в выработку воздуха к расходу выхлопных газов в зависимости от различных вариантов расположения выхлопной трубы на транспортном средстве.

Подача свежего воздуха в подземные горные выработки является эффективным средством удаления отработанных газов и других вредных веществ, таких как оксиды азота и углерода, которые являются основными компонентами выхлопных газов при эксплуатации технических средств с дизельными двигателями внутреннего сгорания. Это предотвращает появление повышенных концентраций этих компонентов в замкнутом пространстве горной выработки. Кроме того, свежий воздух, подающийся в горную выработку во время проветривания, способствует снижению концентраций вредных выхлопных газов, что снижает их воздействие на окружающую среду.

Методы

Была разработана компьютерная математическая модель тупиковой горной выработки с работающей в ней машиной с ДВС (ST-2D) и вентиляционным трубопроводом. Параметры модели: длина – 80 м, ширина 4 м, высота – 3 м. Расстояние от тупика до источника выхлопа (выхлопная труба) – 23 м. Отставание конца вентиляционного ствола от тупиковой части выработки – 15 м (рис. 1).

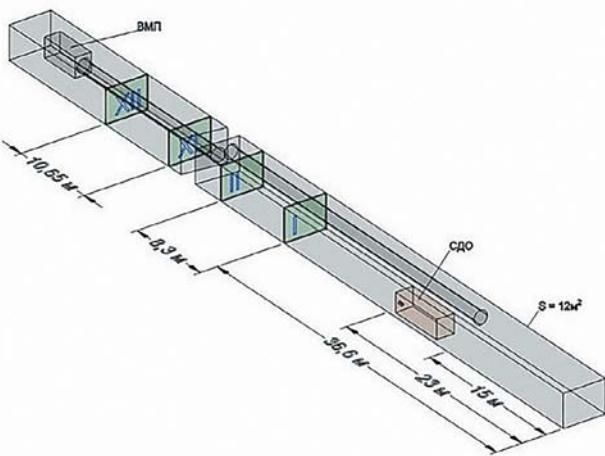


Рис. 1
Геометрия расчетной модели

Fig. 1
Geometry of the
computational model

Математическая компьютерная модель была разработана по полученным ранее рядам натурных измерений концентраций вредных газов по сечению горной выработки и по её протяжённости. Были определены скорость, температура и величина концентраций вредных компонентов. Также были замерены геометрические параметры горной выработки и эксплуатируемой техники, величина расхода воздуха в горной выработке и температура воздуха.

При отборе проб отработавших газов отборщик проб

находился на входящей вентиляционной струе по отношению к выхлопу. Отбор проб осуществлялся в стеклянные пробоотборники и резиновые камеры, предназначенные для отбора проб отработавших газов. Кроме того, контроль концентрацийmonoоксида углерода и оксидов азота осуществлялся с помощью переносного многокомпонентного газоанализатора ПОЛАР. Количественная оценка состава отобранных проб производилась в контрольно-испытательной лаборатории ВГСО. Концентрации угарного газа были получены с помощью методов газовой хроматографии (инструкция №37-2017 ФР 1.31.2018.30111).

В расчетной модели использовалась модель турбулентности Ментера SST (Shear Stress Transport) [32]. Такая модель прекрасно определяет свойства свободных течений и обеспечивает правильное описание пристеночной турбулентности. Модель представляет собой совокупность $k-\epsilon$ и $k-\omega$ модели и увеличивает эффективность работы в окрестности исследуемого участка модели [33; 34]:

$$V_T = \frac{a_1 k}{\max(a_1 \omega, SF_2)}. \quad (1)$$

Условием окончания расчёта было принято достижение величины установленных невязок на уровне 10^{-6} .

Величина невязок составляла 10^{-6} , а количество итераций вычислений ограничивалось 1000. При построении сетки использовалась тетраэдрическая структурированная сетка (Mesh) с размерами ячеек 0,1 м [35]. Дополнительное измельчение сетки проводилось в области выхлопной трубы и до 0,005 м. По предварительным результатам моделирования сделан вывод о влиянии параметров проветривания на качество разбавления выхлопных газов дизельной подземной техники.

Местоположение выхлопной трубы на транспортном средстве было принято согласно сценариям I–III (табл. 1).

Таблица 1
Моделируемые сценарии

Table 1
Simulated scenarios

№ Сценария	Расположение выхлопной трубы относительно транспортного средства	Транспортное средство
I	Сбоку ТС	Погрузочная машина Atlas Copco Scooptram ST-2D
II	Позади снизу ТС	Boomer-281, Sandvick LH-307
III	Позади сверху ТС	Проходческий буровой станок Boomer-M2 D

Каждый моделируемый сценарий соответствовал своему расположению выхлопной трубы на транспортном средстве.

В процессе моделирования изменялись такие параметры, как:

- скорость воздуха, подаваемого через трубопровод в тупиковую горную выработку;
- скорость и температура выхлопных газов, которые соответствовали различной нагрузке на двигатель (низкая, стандартная, максимальная)

Сравнение результатов является ключевым этапом в подтверждении адекватности полученных в моделирова-

Таблица 2
Рассчитанные по данным натурных измерений
и моделирования величины выбросов оксида углерода

Nº сечения	CO сред, ppm (математическая модель)	CO сред, ppm (натурные исследования)	CO модельное / CO нат.исс., %
1	4,9	5,6	86
2	6,0	6,2	97
3	5,9	5,9	100
4	5,4	5,2	104
5	5,1	5,3	96
6	5,5	5,7	97
7	5,6	5,8	97

ния результатов. С целью верификации разработанной математической компьютерной модели были сопоставлены результаты натурных измерений с данными, полученными в результате программного моделирования. Результаты были выведены в виде табл. 2. Проведено сравнение средних значений концентрацийmonoоксида углерода по семи сечениям в исследуемой зоне.

На основе проведенной верификации можно с уверенностью утверждать, что полученные результаты математического компьютерного моделирования имеют достаточно хорошую сходимость с результатами натурных экспериментальных данных. В данном случае результаты верификации подтверждают, что модель адекватно отражает процессы, происходящие в горной выработке. Модель можно считать верифицированной.

Результаты

По результатам моделирования можно сделать вывод о различных распределениях концентрационных полей компонентов выхлопных газов для разного расположения

Table 2
Carbon oxide emission values calculated based
on in-situ measurements and simulations

выхлопной трубы относительно транспортного средства (рис. 2).

Так, вариант с расположением выхлопной трубы позади снизу ТС (а) характеризуется преимущественно концентрацией NOx у почвы выработки, не превышающей высоту 0,78 м, а для случая б характерно скопление оксидов азота с противоположной от вентиляционной трубы стороны выработки. Случаю в – расположение выхлопной трубы позади сверху – свойственна обратная ситуация по распределению. Для него оксиды азота скапливаются вблизи трубопровода и непосредственно за ним в объеме между горной выработкой и поверхностью вентиляционной трубы.

Для различных случаев расположения выхлопной трубы были определены рекомендуемые значения соотношений Q/q , где Q представляет собой расход свежего воздуха, а q – расход выхлопных газов.

Графики зависимостей концентраций от расстояния от места выброса поmonoоксиду углерода (слева) и оксидам азота (справа) в принятых вариантах расположения

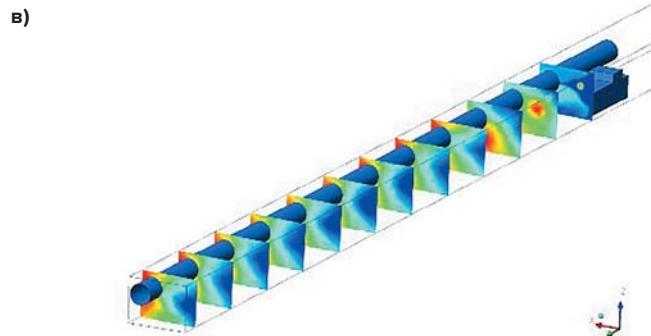
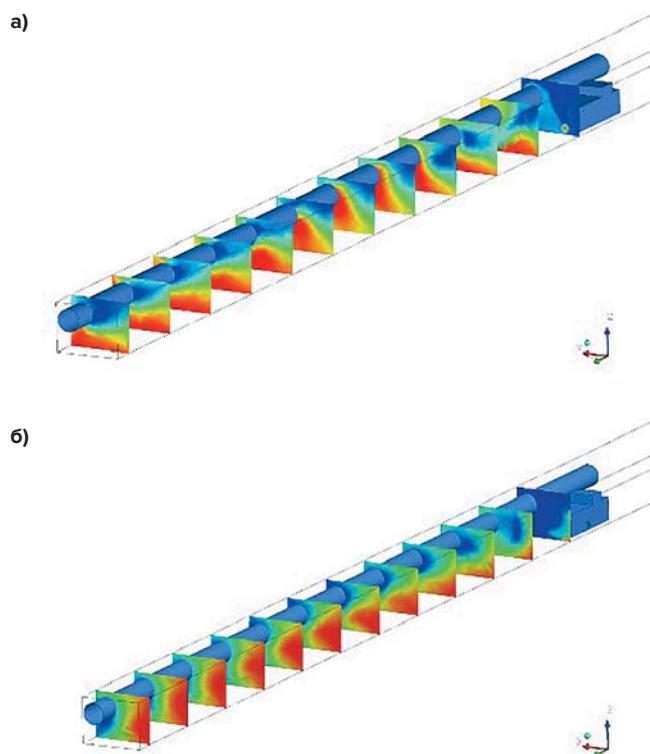
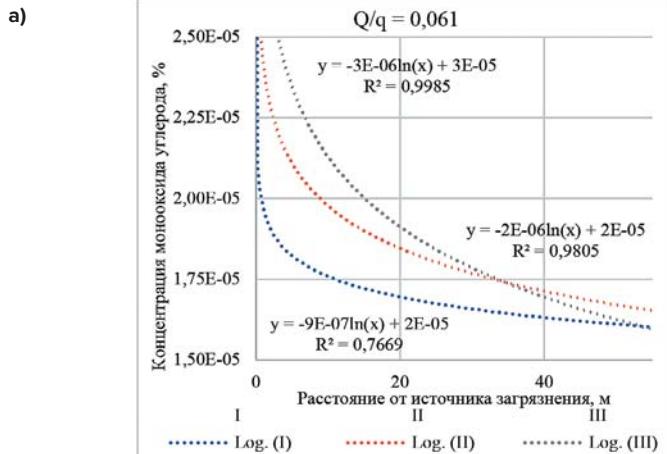


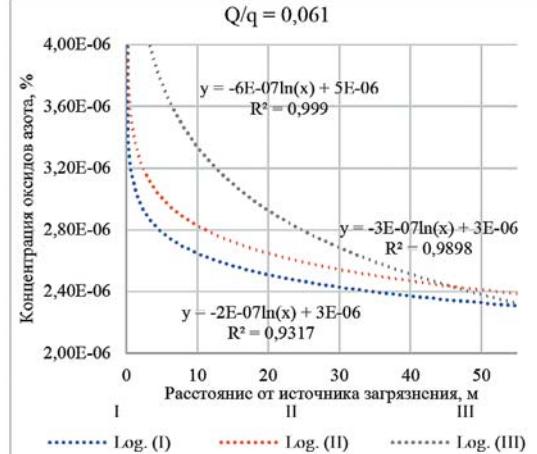
Рис. 2
Распределение концентраций компонентов NOx для условий нормальной нагрузки на двигатель и расходе воздуха:
а – выхлопная труба позади снизу ТС;
б – выхлопная труба сбоку ТС;
в – выхлопная труба позади сверху ТС

Fig. 2
Distribution of the NOx concentrations for normal engine load and air flow rates:
a – the exhaust pipe is located at the bottom behind the vehicle;
b – the exhaust pipe is located at the side of the vehicle;
v – the exhaust pipe is located at the top behind the vehicle

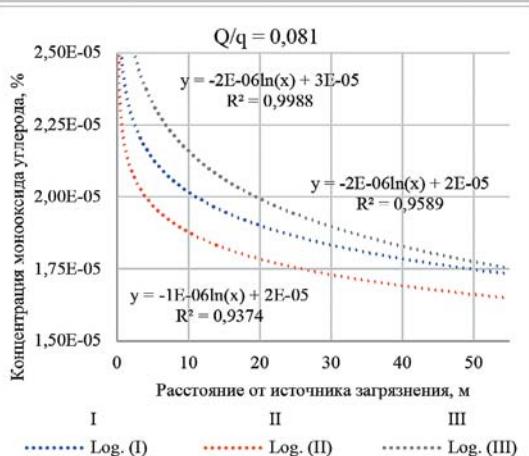
Монооксид углерода (CO)



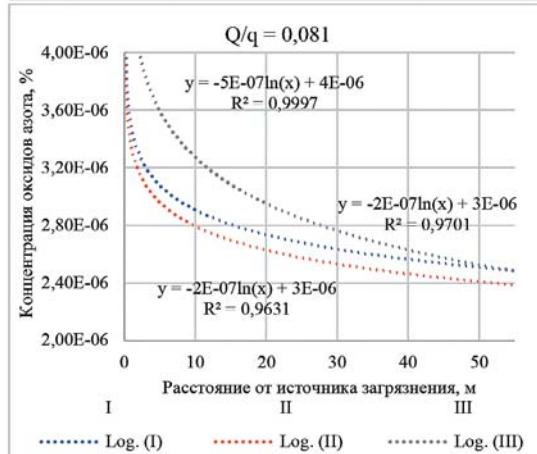
Оксиды азота (NOx)



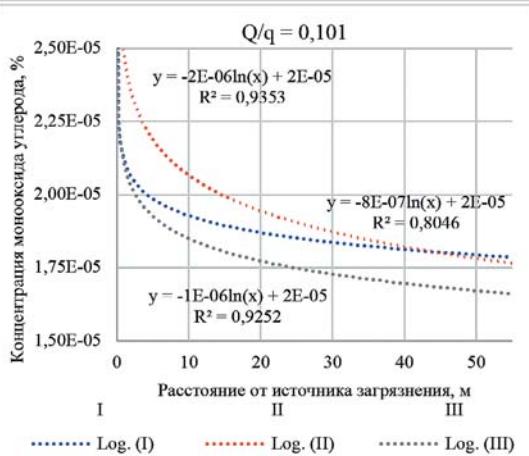
б)



Q/q = 0,081



в)



Q/q = 0,101

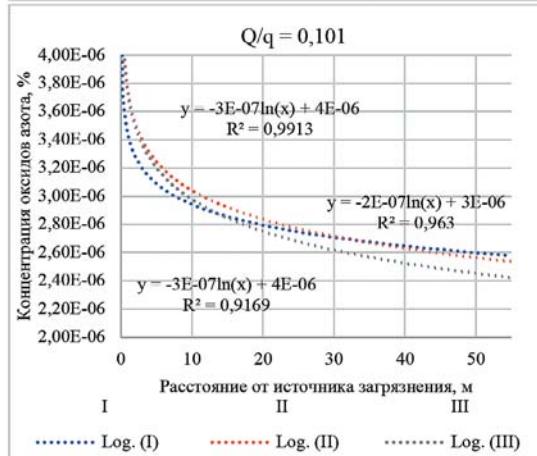


Рис. 3

Рассчитанные зависимости вариантов расположения выхлопной трубы по монооксиду углерода и оксидам азота для различных соотношений Q/q

- а – для соотношения $Q/q = 0,061$;
- б – для соотношения $Q/q = 0,081$;
- в – для соотношения $Q/q = 0,101$

выхлопной трубы при различных отношениях расхода воздуха к расходу выхлопных газов Q/q представлены на рис. 3.

Обсуждение результатов

Проблема попадания выхлопных газов дизельного доставочного оборудования с двигателем внутреннего сгорания

Fig. 3

Calculated dependencies of the exhaust pipe location options on carbon monoxide and nitrogen oxides for different Q/q flow rates.

а – for the Q/q flow rate = 0,061,

б – for the Q/q flow rate = 0,081;

в – for the Q/q flow rate = 0,101

является одной из самых важных при эксплуатации подземных транспортных средств. Наибольшую опасность для здоровья водителя представляют оксиды азота NOx и монооксид углерода CO.

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод о том, что при расположении выхлопной трубы позади транспортного средства наиболее оптимальной величиной

отношения расхода воздуха, подаваемого в выработку, к расходу выхлопных газов дизельного транспортного средства (ТС) является значение 0,081 (Q/q). При расположении выхлопной трубы сбоку ТС – 0,061 (Q/q). В случае местонахождения выхлопной трубы (ВТ) сверху позади ТС – 0,101. Данных соотношений для каждого конкретного принятого варианта можно достигать при помощи повышения расхода свежего воздуха либо путём уменьшения нагрузки на двигатель с целью уменьшения расхода выхлопных газов. Также имеет место регулирование одновременно обоих параметров.

Различные варианты расположения выхлопной трубы оказывают различное влияние на распределение оксидов азота в пространстве поперечного сечения подземной горной выработки.

Наибольшая скорость снижения концентраций вредных компонентов выхлопных газов наблюдается на расстоянии более 10–15 м от источника загрязнения (выхлопной трубы). В большинстве случаев значения предельно допустимой концентрации (ПДК) для компонентов выхлопных газов достигаются в этом диапазоне. Дальнейшее снижение происходит с меньшей интенсивностью вплоть до конца исследуемой зоны.

Заключение

Для различных вариантов расположения выхлопной трубы были определены рекомендуемые значения соотношений Q/q . Эти соотношения позволяют оптимизировать процесс проветривания и способствуют эффективному удалению вредных газов из рабочей зоны. В частности, при размещении выхлопной трубы сбоку транспортного средства (ТС) рекомендованное соотношение составило 0,061. Для случая, когда выхлопная труба располагается позади транспортного средства снизу, это значение увеличивается до 0,081. Наконец, в случае, когда выхлопная труба расположена позади транспортного средства сверху, рекомендуемое соотношение достигает 0,101. Исследование

проводилось с учетом различных позиций расположения выхлопной трубы, что является важным аспектом в контексте обеспечения безопасных условий работы в подземных горных выработках шахт и рудников.

Результаты проведенного исследования могут служить основой для корректировки параметров расхода свежей струи воздуха и регулирования нагрузки на двигатель дизельного транспортного средства. Это позволит достичь заданных значений Q/q , что является залогом эффективного проветривания тупиковых горных выработок. Важно отметить, что соответствующее регулирование этих параметров поможет не только уменьшить концентрацию оксидов углерода и других вредных веществ в воздухе, но и обеспечить безопасность работников, находящихся в зоне воздействия выхлопных газов.

Анализ соотношений показал, что для достижения оптимальных условий проветривания необходимо учитывать не только месторасположение выхлопной трубы, но и другие факторы, такие как скорость движения транспортного средства, характеристики дизельного двигателя и температурные условия в горной выработке. Поэтому для успешной реализации рекомендованных соотношений требуется провести дополнительные исследования, направленные на детальный анализ влияния этих факторов на эффективность проветривания.

Результаты данной работы имеют большое значение для практического применения в горной отрасли, так как оптимизация проветривания может значительно повысить безопасность и уменьшить риск вредного воздействия выхлопных газов на здоровье работников подземных объектов.

Номенклатура

- a_1 – константа (0,31)
- ω – удельная диссиpация
- S – скорость деформации
- F_2 – эмпирическая функция

Список литературы / References

1. Rudakov M.L., Kolvakh K.A., Derkach I.V. Assessment of environmental and occupational safety in mining industry during underground coal mining. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2020;11(3):579–588. [https://doi.org/10.14505//jemt.v11.3\(43\).10](https://doi.org/10.14505//jemt.v11.3(43).10)
2. Sukhomlinov V., Matveev R., Mustafaev A., Timofeev N. Kinetic theory of low-voltage beam discharge instability in rare gases. *Physics of Plasmas*. 2020;27(6):062106. <https://doi.org/10.1063/5.0001822>
3. Chang P., Xu G., Zhou F., Mullins B., Abishek S., Chalmers D. Minimizing DPM pollution in an underground mine by optimizing auxiliary ventilation systems using CFD. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2019;87:112–121. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.02.014>
4. Anisimov A., Chernyshkov I. The linearization method to calculate the equilibrium composition of combustion products of diesel engine. In: Guda A. (eds) *Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles*. NN 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 510. Springer, Cham; 2023, pp. 477–483. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11051-1_47
5. Nel A.J., Vosloo J.C., Mathews M.J. Evaluating complex mine ventilation operational changes through simulations. *Journal of Energy in Southern Africa*. 2018;29(3):22–32. <https://doi.org/10.17159/2413-3051/2018/v29i3a4445>
6. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Исследование токсичности дизельного двигателя при работе на различных альтернативных топливах. *Двигателестроение*. 2023;(2):54–61.
Likhonov V.A., Lopatin O.P. Study of the internal combustion engine toxicity when working on various alternative fuels. *Engines Construction*. 2023;(2):54–61. (In Russ.)
7. Марчук Н.А., Таланова В.А., Кулентсан А.Л. Анализ выбросов загрязняющих веществ различными источниками. *Modern Science*. 2022;(2-1):35–39.
Marchuk N.A., Talanova V.A., Kulentsan A.L. Analysis of pollutant emissions from various sources. *Modern Science*. 2022; (2-1):35–39. (In Russ.)

8. Vinogradov E.A., Nikiforov A.V., Kochneva A.A. Computational fluid dynamics study of ventilation flow paths on longwall panel. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2019;10(2):1140–1147.
9. Дашко Р.Э., Романов И.С. Прогнозирование горно-геологических процессов на основе анализа подземного пространства рудника Купол как многокомпонентной системы (Чукотский автономный округ, Анадырский р-н). *Записки Горного института*. 2021;247:20–32. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.1.3>
Dashko R.E., Romanov I.S. Forecasting of mining and geological processes based on the analysis of the underground space of the Kupol deposit as a multicomponent system (Chukotka Autonomous Region, Anadyr district). *Journal of Mining Institute*. 2021;247:20–32. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.1.3>
10. Козырева Е.Н., Шинкевич М.В. Особенности газогеомеханических процессов на выемочном участке шахты. *Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*. 2010;(2):28–35.
Kozyreva E.N., Shinkevich M.V. Peculiar features of gas-geomechanical processes at a mine coal extraction section. *Bulletin of Research Center for Safety in Coal Industry*. 2010;(2):28–35. (In Russ.)
11. Corsini A., Marchegiani A., Rispoli F., Sciulli F., Venturini P. Vegetable oils as fuels in diesel engine. engine performance and emissions. *Energy Procedia*. 2015;81:942–949. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.151>
12. Корнев А. В., Спицын А. А., Займенцева Л. А., Зубко М. В. Исследование физико-химических свойств гидрогеля как средства пылевзрывозащиты и снижения запыленности в угольных шахтах. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(9-1):180–198. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_91_0_180
Kornev A.V., Spitsyn A.A., Zaimentseva L.A., Zubko M.V. Research of the physico-chemical properties of hydrogel as a means of dust-explosion protection and dust reduction in coal mines. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(9-1):180–198. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_91_0_180
13. Bestel D., Bayliff S., Marchese A., Olsen D., Windom B., Xu H. Multi-dimensional modeling of the CFR engine for the investigation of SI natural gas combustion and controlled end-gas autoignition. In: *Proceedings of the ASME 2020 Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference. ASME 2020 Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference, November 4–6, 2020*. V001T06A012. <https://doi.org/10.1115/ICEF2020-2992>
14. Kabanov E.I., Korshunov G.I., Magomet R.D. Quantitative risk assessment of miners injury during explosions of methane-dust-air mixtures in underground workings. *Journal of Applied Science and Engineering (Taiwan)*. 2021;24(1):105–110. [https://doi.org/10.6180/jase.202102_24\(1\).0014](https://doi.org/10.6180/jase.202102_24(1).0014)
15. Balasubramanian D., Hoang A.T., Venugopal I.P., Shanmugam A., Gao J., Wongwuttanasatian T. Numerical and experimental evaluation on the pooled effect of waste cooking oil biodiesel/diesel blends and exhaust gas recirculation in a twin-cylinder diesel engine. *Fuel*. 2021;287:119815. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119815>
16. Чеботарёв А.Г., Гибадулина И.Ю., Горячев Н.С. Загрязнение рудничной атмосферы при использовании самоходного оборудования с дизельным приводом и мероприятия по её нормализации. *Горная промышленность*. 2019;(2):74–76. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2019-2-144-74-76>
Chemotaryov A.G., Gibadulina I.Yu., Goryachev N.S. Contamination of mine air with exhaust gases of self/ propelled machinery and proposed corrective measures. *Russian Mining Industry*. 2019;(2):74–76. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2019-2-144-74-76>
17. Коршунов Г.И., Еремеева А.М., Дребенштедт К. Обоснование применения растительной добавки к дизельному топливу в качестве способа защиты подземного персонала угольных шахт от воздействия вредных выбросов дизель-гидравлических локомотивов. *Записки Горного института*. 2021;247:39–47. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.1.5>
Korshunov G.I., Eremeeva A.M., Drebendstedt C. Justification of the use of a vegetal additive to diesel fuel as a method of protecting underground personnel of coal mines from the impact of harmful emissions of diesel-hydraulic locomotives. *Journal of Mining Institute*. 2021;247:39–47. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.1.5>
18. Жихарев С.Я., Цыганков В.Д., Родионов В.А., Исаевич А.Г. Оптимизация процессов пылеподавления при ведении подземных горных работ на основе данных натурных экспериментов и моделирования в программе Ansys Fluent. *Горный журнал*. 2023;(11):70–75. <https://doi.org/10.17580/gzh.2023.11.11>
Zhikharev S.Ya., Tsygankov V.D., Rodionov V.A., Isaevich A.G. Optimization of dust suppression processes during underground mining based on full-scale experimentation and ANSYS Fluent simulation. *Gornyi Zhurnal*. 2023;(11):70–75. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2023.11.11>
19. Rogers A., Davies B. Diesel particulates – recent progress on an old issue. *The Annals of Occupational Hygiene*. 2005;49(6):453–456. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mei020>
20. Davis M.E., Hart J.E., Laden F., Garshick E., Smith T.J. A retrospective assessment of occupational exposure to elemental carbon in the U.S. trucking industry. *Environmental Health Perspectives*. 2011;119(7):997–1002. <https://doi.org/10.1289/ehp.1002981>
21. Bickert S., Kampker A., Greger D. Developments of CO₂-emissions and costs for small electric and combustion engine vehicles in Germany. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2015;36:138–151. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.02.004>
22. Borak J., Bunn W.B., Chase G.R., Hall T.A., Head H.J., Hesterberg T.W. et al. Comments on the diesel exhaust in miners study. *The Annals of Occupational Hygiene*. 2011;55(3):339–342. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mer005>
23. Гридина Е.Б., Боровиков Д.О. Повышение безопасности труда рабочего персонала карьера, расположенного в сложных горно-геологических условиях Крайнего Севера. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(9-1):149–163. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_91_0_149
Gridina E.B., Borovikov D.O. Improving the safety of the working personnel of a quarry located in difficult mining and geological conditions of the Far North. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(9-1):149–163. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_91_0_149

24. Гендлер С.Г., Братских А.С. Актуальные проблемы возгорания угольных скоплений в породных отвалах. *Горная промышленность*. 2024;(5S):71–77. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-71-77>
Gendler S.G., Bratskikh A.S. Actual problems of coal accumulations ignition in rock dumps. *Russian Mining Industry*. 2024;(5S):71–77. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-71-77>
25. Семин М.А., Гришин Е.Л., Левин Л.Ю., Зайцев А.В. Автоматизированное управление вентиляцией шахт и рудников. Проблемы, современный опыт, направления совершенствования. *Записки Горного института*. 2020;246:623–632. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.6.4>
Semin M.A., Grishin E.L., Levin L.Y., Zaitsev A.V. Automated ventilation control in mines. Challenges, state of the art, areas for improvement. *Journal of Mining Institute*. 2020;246:623–632. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.6.4>
26. Серёгин А.С., Иконников Д.А., Белехов П.А. К вопросу организации защиты систем аэрогазового контроля шахты от ложных срабатываний при работе дизельного технологического оборудования. *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*. 2024;(27):77–81. <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2024-27-77-81>
Seregin A.S., Ikonnikov D.A., Belekhov P.A. On the issue of organizing protection of the mine's aerogas control system from false alarms during the operation of diesel technological equipment. *Transport, Mining and Construction Engineering: Science and Production*. 2024;(27):77–81. (In Russ.) <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2024-27-77-81>
27. Park J., Park S., Lee D.-K. CFD modeling of ventilation ducts for improvement of air quality in closed mines. *Geosystem Engineering*. 2016;19(4):177–187. <https://doi.org/10.1080/12269328.2016.1164090>
28. Кащинков А.В., Круглов Ю.В. Стратегия управления проветриванием рудника в оптимальном режиме с использованием аппарата нечеткой логики. *Записки Горного института*. 2023;262:594–605. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.75>
Kashnikov A.V., Kruglov Y.V. Strategy of mine ventilation control in optimal mode using fuzzy logic controllers. *Journal of Mining Institute*. 2023;262:594–605. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.75>
29. Левин Л.Ю., Зайцев А.В., Гришин Е.Л., Семин М.А. Расчет количества воздуха по содержанию кислорода для проветривания рабочих зон при применении машин с двигателями внутреннего сгорания. *Безопасность труда в промышленности*. 2015;(8):43–46.
Levin L.Yu., Zaitsev A.V., Grishin E.L., Semin M.A. Calculation of air quantity on oxygen content for ventilation of the working areas when using machines with internal-combustion engine. *Occupational Safety in Industry*. 2015;(8):43–46. (In Russ.)
30. Benbrahim-Tallaa L., Baan R.A., Grosse Y., Lauby-Secretan B., El Ghissassi F., Bouvard V. et al. Carcinogenicity of diesel-engine and gasoline-engine exhausts and some nitroarenes. *The Lancet Oncology*. 2012;13(7):663–664. [https://doi.org/10.1016/s1470-2045\(12\)70280-2](https://doi.org/10.1016/s1470-2045(12)70280-2)
31. Кречманн Ю., Плиен М., Нгуен Т.Х.Н., Рудаков М.Л. Эффективное наращивание потенциала в горном деле за счет обучения, расширяющего возможности в области управления охраной труда. *Записки Горного института*. 2020;242:248–256. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.2.248>
Kretschmann J., Plien M., Nguyen T.H.N., Rudakov M.L. Effective capacity building by empowerment teaching in the field of occupational safety and health management in mining. *Journal of Mining Institute*. 2020;242:248–256. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.2.248>
32. Menter F.R. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. *AIAA Journal*. 1994;32(8):1598–1605. <https://doi.org/10.2514/3.12149>
33. Menter F.R., Kuntz M., Langtry R. Ten years of industrial experience with the SST turbulence model. *Turbulence, Heat and Mass Transfer*. 2003;4(1):625–632.
34. Mohammadi B., Pironneau O. *Analysis of the K-Epsilon Turbulence Model*. Masson. Saint-Jean-de-Monts, France; 1994. 205 p.
35. Camelli F.E., Byrne G., Löhner R. Modeling subway air flow using CFD. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2014;43:20–31. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2014.02.012>

Информация об авторах

Гендлер Семён Григорьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности производств, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-7721-7246>; e-mail: sgendler@mail.ru

Серёгин Александр Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, заместитель директора ООО «НПИ «НЕДРА», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-2897-8604>; e-mail: seregin_as@pers.spmi.ru

Белехов Павел Александрович – аспирант, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: belekhovpavel@mail.ru

Information about the authors

Semyon G. Gendler – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department of Production Safety, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-7721-7246>; e-mail: sgendler@mail.ru

Aleksandr S. Seregin – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Deputy Director of NPI NEDRA LLC, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-2897-8604>; e-mail: seregin_as@pers.spmi.ru

Pavel A. Belekhov – Postgraduate Student, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: belekhovpavel@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 19.04.2025
Поступила после рецензирования: 05.06.2025
Принята к публикации: 27.06.2025

Article info

Received: 19.04.2025
Revised: 05.06.2025
Accepted: 27.06.2025

Перспективы добычи лития в Португалии в контексте климатической политики Европейского союза

А.В. Зимаков 

Национальный исследовательский институт мировой экономики и международных отношений им. Е.М. Примакова
Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация
 andrey.zimakov@yandex.ru

Резюме: Стремление Евросоюза к климатической нейтральности в 2050 г. обусловило рост спроса на необходимые для зеленых технологий сырьевые материалы, среди которых особое место занимает литий, используемый при производстве литий-ионных аккумуляторов электромобилей и накопителей энергии. В то время как другие страны кратно нарастили добычу лития, у единственного европейского производителя – Португалии – добыча остается на стабильно низком уровне. Объективные сложности с ее увеличением связаны с недостаточной геологической разведанностью месторождений. Несмотря на усилия правительства Португалии по созданию промышленного литиевого кластера, охватывающего всю цепочку создания стоимости, их результативность остается ограниченной, что связано с задержками в проведении тендеров на поиск и разведку месторождений, а также в согласовании разрешений на эксплуатацию.

Одной из ведущих причин является противодействие планам разработки месторождений со стороны местного населения из опасений, что разработка открытым способом негативно повлияет как на экологию, так и на привлекательность для туризма (важнейшего источника странового ВВП). Проблема социальных протестов, связанная с возобновлением горнодобывающей деятельности для снижения зависимости ЕС от импорта критически важного для целей климатической политики сырья в условиях высокой плотности населения, тормозит реализацию проектов также и в других странах ЕС. Для их ускорения Еврокомиссия внедрила регламент, предусматривающий короткие сроки согласования стратегических проектов, в том числе по добыче лития в Португалии. Несмотря на заинтересованность ЕС в скорейшей разработке месторождений умеренный консервативный подход может оказаться более соответствующим интересам Португалии в условиях неопределенности с динамикой мирового спроса на литий с учетом инновационного прогресса альтернативных аккумуляторных технологий, позволяя максимально сохранить благоприятную экологию и туристическую привлекательность, а также снизить социальное напряжение.

Ключевые слова: ЕС, Португалия, литий, критически важные сырьевые материалы, климатическая политика, горная промышленность

Для цитирования: Зимаков А.В. Перспективы добычи лития в Португалии в контексте климатической политики Европейского союза. Горная промышленность. 2025;(4):178–185. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-178-185>

Prospects for lithium mining in Portugal in the context of European Union's climate policy

A.V. Zimakov 

Institute of World Economy and International Relations of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
 andrey.zimakov@yandex.ru

Abstract: The European Union's ambition to achieve climate neutrality by 2050 has driven up the demand for critical raw materials, with lithium used in production of lithium-ion batteries for electric vehicles and energy storage systems occupying a key position. While the other countries have significantly ramped up their lithium production, Portugal, the EU's sole producer, maintains a consistently low output. Objective challenges to increasing the production are linked to insufficient geological exploration of the lithium deposits. Despite the Portugal government's efforts to create an industrial lithium cluster encompassing the entire value chain, their effectiveness remains limited due to delays in tendering for exploration, as well as in the approval of operation permits.

One of the main reasons for the delays is a strong local opposition over concerns that open-pit mining could negatively impact

the environment, quality of life and tourism as an essential contributor to the country's GDP. The issue of social protests, related to the revival of mining activities aimed at reducing the EU's dependence on imports of the raw materials critical for its climate policy goals in densely populated areas, also hinders project implementation in other EU countries. In order to speed up such projects, the European Commission has introduced a regulation that sets shorter deadlines for the approval of strategic projects, including lithium mining in Portugal. Despite the EU's push for fast-tracking lithium mining, a moderately conservative approach may better align with Portugal's interests amid uncertainty about the global lithium demand trends, considering the innovation-driven progress of alternative battery technologies. This approach allows for better preservation of the country's high environmental quality and its appeal as a tourist destination, as well as alleviation of the social tensions.

Keywords: EU, Portugal, lithium, critical raw materials, climate policy, mining industry

For citation: Zimakov A.V. Prospects for lithium mining in Portugal in the context of European Union's climate policy. *Russian Mining Industry*. 2025;(4):178–185. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-178-185>

Введение

Одним из парадоксов климатической политики ЕС является фактическое стимулирование в мировых масштабах роста добычи металлургического и различного минерального сырья для производства «экологичных» товаров и «зеленых» технологий, требующихся для реализации планов по декарбонизации и достижения углеродной нейтральности к 2050 г. [1]. Согласно оценкам МЭА мировая ежегодная потребность в критически важных для зеленых технологий сырьевых материалах к 2050 г. вырастет в два раза по сравнению с 2022 г. при сохранении текущих мер климатической политики и в три с половиной раза – в случае более агрессивного целеполагания¹. При этом рост потребности в конкретных видах критически важного сырья будет зависеть от динамики развития различных зеленых технологий.

Согласно оценкам Университета Лёвена (Бельгия) для реализации заявленных Евросоюзом целей по достижению углеродной нейтральности в части электрификации автотранспорта к 2050 г. потребуется на 103% больше никеля, на 331% – кобальта и на 3535% – лития². Столь высокая потребность в литии объясняется его использованием в литий-ионных батареях, оказавшихся наиболее оптимальной технологией (для производства) аккумуляторов в настоящий момент. Литий, ранее использовавшийся для нужд керамической промышленности, при производстве алю-

миния, а также в составе специальных смазок, внезапно оказался крайне востребованным металлом, что привело к резкому росту его стоимости [2].

Всплеск интереса к литию в мире побудил основных производителей по возможности увеличить его добычу, что хорошо прослеживается по статистике Геологической службы США.

Отметим, что данная статистика не всегда корректно интерпретируется, так как совместно учитывает очень неоднородные виды добычи лития. Так, например, первый в мире по объемам экспорт карбонат лита, вырабатываемый на основе подземных соленых растворов солончаков пустыни Атакама в Чили, экспортный сподуменовый концентрат из Австралии и нерафинированная литийсодержащая слюда для нужд керамической промышленности оказываются в одном ряду. Элемент погрешности также присутствует при пересчете разных видов сырья в тонны лития. Наконец, данная статистика Геологической службы США не показывает цифры по добыче лития в самих США, хотя в описательной части упоминаются действующие или планируемые проекты.

Тем не менее из статистики следует, что за пять лет с 2015 г. (начала «литиевого бума», нашедшего выражение в резком ценовом всплеске) основные страны-производители Австралия и Чили удвоили добычу, а в Китае она

Таблица 1
Добыча лития по странам
в 2010, 2015 и 2020 гг., т

Table 1
Lithium production by
countries in 2010, 2015
and 2020, tons

Страны	2010	2015	2020
Аргентина	2950	3600	5900
Австралия	9260	14100	39700
Бразилия	160	200	1420
Зимбабве	470	900	417
Китай	3950	2000	13300
Португалия	800	200	348
Чили	10510	10500	21500

Источник: Составлено автором на основе отчетов Геологической службы США. <https://www.usgs.gov>
Source: Compiled by the author based on the US Geological Survey reports. <https://www.usgs.gov>

¹ Critical Minerals Market Review 2023. International Energy Agency, December 2023, p. 63. Available at: <https://www.iea.org/reports/critical-minerals-market-review-2023> (accessed: 07.03.2025).

² Metals for Clean Energy: Pathways to solving Europe's raw materials challenge. KU Leuven, April 2022. Available at: <https://bit.ly/MetalsCleanEnergy> (accessed: 07.03.2025).

Таблица 2
Добыча лития
в 2023–2024 гг. и
запасы лития на 2024 г., т

Table 2
Lithium production
in 2023–2024 and lithium
reserves in 2024, tons

Страны	Добыча лития		Запасы 2024
	2023	2024	
Австралия	91 700	88 000	57 000 000
Чили	41 400	49 000	9 300 000
Китай	35 700	41 000	3 000 000
Зимбабве	14 900	22 000	480 000
Аргентина	8630	18 000	4 000 000
Бразилия	5260	10 000	390 000
Канада	3240	4300	1 200 000
Намибия	2700	2700	14 000
Португалия	380	380	60 000

Источник: Составлено автором на основе отчетов Геологической службы США. <https://www.usgs.gov>
Source: Compiled by the author based on the US Geological Survey reports. <https://www.usgs.gov>

выросла в шесть раз. Рост спроса и мировых цен побудил другие страны активизировать поиски лития на своей территории либо возобновить разработку месторождений, ранее прекращенную в связи с нерентабельностью. В 2023 г. в перечень вошли возобновившие добычу Канада и Намибия, отодвинув на последнее девятое место Португалию.

Португалия обращает на себя внимание тем, что при относительно высоких запасах ее добыча лития остается на стабильно низком уровне, в то время как, например, Австралия вновь удвоила добычу только за три года с 2020 по 2023 г., а Бразилия и Аргентина – всего за год.

При этом Португалия – единственная европейская страна в этом перечне. И с учетом острой потребности в литии Евросоюза, вынужденного его импортировать, отсутствие динамики добычи в Португалии выглядит парадоксально. Например, на это обстоятельство обращает внимание Марио Драги в докладе «Будущее европейской конкурен-

тоспособности», вышедшем в сентябре 2024 г., и указывает на возможность наращивания добычи лития в Португалии как на легкодостижимое решение по снижению европейской импортной зависимости и повышению конкурентоспособности³. В чем же заключается причина этой парадоксальной ситуации и действительно ли возможно увеличение добычи лития в Португалии в короткие сроки?

Нарашивание добычи лития в Португалии: легкодостижимое решение?

Хотя Португалия обычно не упоминается среди грандов мировой добычи полезных ископаемых, у страны имеется достаточно продолжительная история добычи цветных металлов, прослеживающаяся вплоть до меднокаменного века. Вместе с тем начало промышленной разработки месторождений было начато лишь ближе к концу XIX – началу XX в. Начало добычи вольфрама, сделавшего Португалию важным поставщиком стратегического сырья

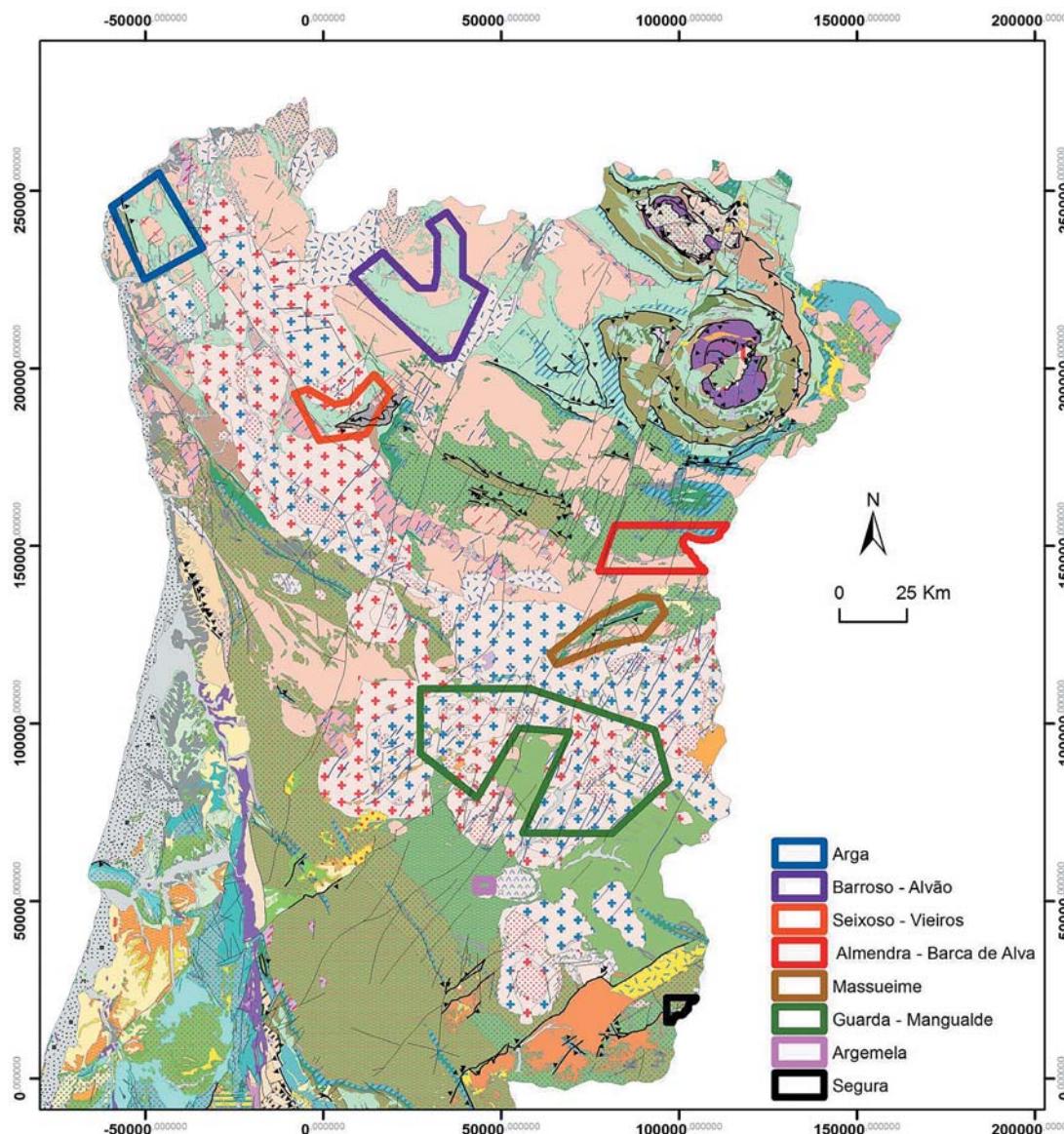


Рис. 1
Основные перспективные
районы залежей лития
в Северной и Центральной
Португалии

Источник: Laboratorio Nacional de Energia e Geologia. Available at: <https://lNEG.pt>

Fig. 1
Main regions with lithium
prospects in the Northern
and Central Portugal

Source: Laboratorio Nacional de Energia e Geologia. Available at: <https://lNEG.pt>

³ The future of European competitiveness – Part B. In-depth analysis and recommendations. September 2024, p. 53. Available at: https://commission.europa.eu/topics/eu-competitiveness/draghi-report_en (accessed: 07.03.2025).

для военной промышленности, относится именно к этому периоду. Пики спроса на этот металл пришлись на период Первой и особенно Второй мировой войны, когда правительство Антониу Салазара, сохраняя формальный нейтралитет, поставляло вольфрам обеим воюющим сторонам [3]. В тот период в Португалии также активно велась добыча олова, меди, урана, цинка, свинца и других руд. И хотя во второй половине XX в. горнодобывающая промышленность постепенно приходила в упадок, связанный как с ростом конкуренции со стороны стран третьего мира, так и с изменением мирового спроса, ряд месторождений продолжают эксплуатироваться, например, вольфрамовый рудник Панашкейра в центральной части страны (Каштелу Бранку).

Литий в виде сподумена в гранитных пегматитах был впервые обнаружен в Португалии в начале 1990-х годов на севере страны, неподалеку от Ковал-ду-Баррозу (муниципалитет Ботикаш, Вила Реал) и Арга (Виана до Каштелу). В последующие годы Геологическая служба Португалии обнаружила залежи литийсодержащих минералов сподумена и петалита (первичных источников лития) в других регионах на севере и в центре страны (рис. 1).

Надо отметить, что в те годы литий в первую очередь использовался для нужд стекольной и керамической промышленности как добавка для снижения температуры плавления и тем самым экономии энергии при обжиге. И достаточно давно в Португалии для этих целей использовалась лепидолитовая слюда (вторичный источник лития) [4]. Поэтому обнаруженные месторождения сподумена и петалита представляли ограниченный интерес. Португальские предприятия, добывающие литийсодержащие пегматиты на протяжении многих лет, как правило, занимаются разработкой месторождений строительных и промышленно-сырьевых материалов. Например, «Grupo Mota», разрабатывающее месторождения в Алварроеш (Гуарда) и Мангуалди (Визеу), добывает литийсодержащие лепидолит и сподумен попутно с полевым шпатом и кварцем, которые затем используют для производства керамической массы.

Несмотря на относительно скромные размеры добычи, полностью идущей на нужды местной керамической промышленности, Португалия стабильно входит в перечень стран – производителей лития и мировых запасов Геологической службы США, на который часто ссылаются как в португальской прессе⁴, так и государственные деятели, например Антониу Кошта, будучи премьер-министром Португалии⁵ (см. табл. 1).

Попадание Португалии в этот список объясняется в первую очередь ограниченностью числа добывающих литий стран, что исторически связано с появлением на рынке производителей из южноамериканского «литиевого треугольника» и Австралии, имеющих низкую себестоимость добычи. Второй причиной является наличие в Португалии отчетности, учитывающей содержание лития в добываемом сырье. Нельзя исключать, что в других странах добыча схожего минерального сырья учитывается по-другому, без упоминания лития, поэтому в перечень они не попадают.

⁴ Portugal está no top-10 dos maiores produtores de litio a escala global Expresso, 09.03.2025. Available at: <https://expresso.pt/economia/2025-03-09-portugal-esta-no-top-10-dos-maiores-produtores-de-litio-a-escala-global5feaf6c> (accessed: 05.03.2025).

⁵ Portugal tem a maior reserva de litio da Europa e a oitava maior do mundo Publico, 14.04.2023. Available at: <https://www.publico.pt/2023/04/14/azul/noticia/portugal-maior-reserva-litioeuropana-2046111> (accessed: 05.03.2025).

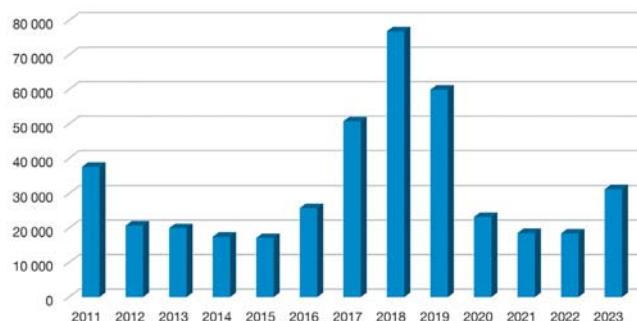


Рис. 2
Добыча литийсодержащих пегматитов в Португалии за период 2011–2023 гг., т

Источник: составлено на основе данных Direção Geral de Energia e Geologia – estatística da indústria extractiva. Available at: <https://dgeg.gov.pt/pt/estatistica/geologia/>

Fig. 2
Mining of lithium pegmatite in Portugal in 2011–2023, tons

Source: Compiled based on data from Direção Geral de Energia e Geologia – estatística da indústria extractiva. Available at: <https://dgeg.gov.pt/pt/estatistica/geologia/>

В самой Португалии литий учитывается статистикой Генерального директората по энергии и геологии как «литийсодержащие пегматиты»⁶ или как «смеси кварца, полевого шпата и лития» (раздел «промышленные минералы») в тоннах добывшей породы без выделения содержания лития. При этом данные демонстрируют высокую волатильность, что свидетельствует об отсутствии целенаправленной добычи (рис. 2).

Таким образом, Португалия, несмотря на статус добывающей литий страны, не является производителем «товарного» лития, пригодного для экспорта, т.е. в коммерчески приемлемой форме типа карбоната или гидроксида лития, либо обогащенного сподуменового концентрата. Поэтому для организации экспортноориентированной добычи в Португалии необходимо предпринять целый ряд мер, начиная с разведки известных и поиска новых месторождений литийсодержащих пегматитов, подготовки планов их разработки и последующей переработки, включая согласования с госорганами, что занимает существенное время. Тем самым возможности по оперативному наращиванию уровня добычи на практике оказываются достаточно ограниченными.

Литиевый кластер Португалии: ожидания и реалии

Как бы то ни было, на момент резкого роста мирового спроса на литий в середине 2010-х годов Португалия оказалась единственным официальным производителем лития в Евросоюзе, и в силу этого не могла не привлечь внимание как международных инвесторов, так и европейской и местной политики, для которых наращивание его добычи представлялось достижимым в короткие сроки. Действительно, получение лития из горных пород, хотя и менее рентабельно по сравнению с солеными подземными водами солончаков, обладает тем преимуществом, что может быть начато быстрее⁷. И наличие в Португалии 60 тыс. т запасов лития (согласно оценкам Геологической службы США) с многолетней историей добычи давали все основания для оптимизма.

⁶ До 2022 года.

⁷ Competitiveness of Portuguese Lithium. LNEG: Policy Brief, September 2020. Available at: <http://hdl.handle.net/10400.9/3333> (accessed: 05.03.2025).

Пользуясь благоприятной конъюнктурой на фоне растущего в мире интереса к литию, правительство Антониу Кошта инициировало работу по оценке имеющихся в стране ресурсов и возможностей по их освоению. Учрежденная указом статс-секретаря по энергии в 2016 г.⁸ рабочая группа «Литий» спустя год работы представила доклад, в котором определила восемь перспективных районов, где имеются запасы различных минералов (в основном сподумена и петалита) с достаточно высоким содержанием лития. Следующим шагом должно было стать проведение тендеров на поиск и разведку в этих районах.

Одновременно кабинетом Антониу Кошта была разработана стратегия по максимальной локализации всей производственной цепочки лития. Соответствующие «Стратегические руководящие линии по освоению потенциала литиевых залежей в Португалии»⁹ были приняты советом министров в январе 2018 г. Правительство активно создавало благоприятные условия для строительства в Португалии предприятий по переработке добываемого в стране лития, который затем должен поступать на заводы по выпуску литий-ионных батарей, которые, в свою очередь, должны устанавливаться на электромобили, выпускаемые на автопредприятиях в Португалии и других европейских странах.

На первых порах эти усилия принесли плоды. Помимо запасов, которые еще только предстоит дозревать, были оформлены две концессии (Баррозу и Роману) для начала разработки лития в ускоренном режиме. Португальская нефтегазовая компания Galp и пионер европейской индустрии по производству литий-ионных аккумуляторов Northvolt (Швеция) объявили о создании СП Аврора для строительства в г. Сетубал предприятия по выпуску 35 тыс. т гидроксида лития ежегодно, который затем поставлялся бы на фабрику в Швеции. В это же время лидер китайской промышленности по выпуску аккумуляторов CALB (China Aviation Lithium Battery) заявил о планах по постройке завода по производству автомобильных литий-ионных батарей в индустриальном парке г. Синеш (Сетубал) мощностью 15 ГВтч и стоимостью два миллиарда евро. А на предприятиях автоконцернов Volkswagen и Stellantis, расположенных в Португалии, начали выпускаться электромобили.

Несмотря на эти успехи проблемы возникли с начальным звеном производственной цепочки, а именно с месторождениями. Из восьми перспективных районов два были исключены из программы по результатам экологической оценки, завершившейся в 2021 г., так как находятся на охраняемых природных территориях. Обновленная программа поиска и разведки лития была опубликована в январе 2022 г., однако тендеры так и не были проведены. Основная причина задержки заключается в политических событиях, разворачивающихся вокруг двух выделенных концессий, переоформленных в особом порядке. Ряд залежей литий-содержащих пород находятся в районах, где ранее велась разработка других полезных ископаемых, и внесение изменений в лицензию с увеличением при необходимости выделяемой площади оказалось удобным способом избежать длительной и сложной бюрократической процедуры.

По такой схеме в 2016 г. была переоформлена лицензия на группу месторождений Баррозу (муниципалитет Ботикаш, Вила Реал), изначально полученная португальской

компанией в 2006 г. для добычи кварца и полевого шпата и фактически не использовавшаяся. В 2017 г. эта лицензия была переуступлена компании Savannah Resources (Великобритания), которая вскоре подала заявку на увеличение площади на дополнительные 140 га и представила на экологическую экспертизу план разработки литиевого месторождения, предусматривающий несколько открытых карьеров глубиной 50–100 м. Добываемая порода, содержащая около 1% Li₂O, должна поступать на обогатительную фабрику, производящую ежегодно на протяжении 11 лет 190 тыс. т сподуменового концентрата с содержанием Li₂O 5,5%, с его дальнейшей поставкой на экспорт или на перерабатывающие предприятия в ЕС¹⁰.

Учитывая достаточно простую схему разработки (открытый способ, отсутствие переработки в товарные карбонад или гидроксид лития), начать эксплуатацию месторождения компания планировала уже в 2023 г., однако ожидаемые сроки оказались слишком оптимистичными. Представленная в 2020 г. оценка воздействия на окружающую среду дважды отклонялась Португальским агентством по экологии и только после вмешательства в 2023 г. Генерального директората по энергии и геологии все же была согласована с рядом условий и компенсирующих мероприятий.

Это положительное заключение было немедленно оспорено в суде муниципалитетом Ботикаш и общиной Коваш-ду-Баррозу. Дело в том, что проект разработки месторождения вызвал волну протестов как местного населения, так и экологических организаций. Регион Баррозу не отличается высокой плотностью населения (общая численность составляет чуть больше тысячи человек), преимущественно занятого фермерским хозяйством и агротуризмом, однако разработка открытых карьеров с перемещением грунта, размещением отходов (хвостов) обогатительной фабрики и прочими сопутствующими факторами неизбежно негативно повлияет как на экологию, так и на повседневную хозяйственную деятельность. Вдобавок Баррозу оказался одним из всего одиннадцати европейских регионов, объявленных Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН системой сельскохозяйственного наследия мирового значения (GIAHS), и ведение разработки открытым способом на данной территории несовместимо с данным статусом. В феврале 2024 г. прокуратура заявила ходатайство об аннулировании положительного заключения экологической оценки, однако по состоянию на начало 2025 г. решения суда пока нет.

По схожему сценарию развивается ситуация вокруг месторождения «Роману» в соседнем муниципалитете Монталегри (Вила Реал). В 2012 г. португальская компания Lusorecursos получила концессию на поиск и разведку месторождений вольфрама, олова и лития в зоне «Сепеда», где добыча олова в ограниченных количествах велась шахтным способом еще во времена Римской империи и была прекращена в 1950-е годы после более интенсивной разработки в годы Второй мировой войны. По результатам проведенных работ в 2019 г. компания была предоставлена концессия на разработку месторождения, получившего название «Роману», с общими запасами 15,6 млн т петалита с 1,09% Li₂O. При подготовке плана разработки компания изначально рассматривала открытый способ (как наиболее экономически оправданный), однако, исходя из минимизации негативного влияния на экологию (и начала протестов против

⁸ Despacho n.º 15040/2016 de S.E. o Secretário de Estado da Energia publicado no DR, 2.ª série, de 13 de dezembro de 2016

⁹ Linhas de orientação estratégica, quanto à valorização do potencial de minerais de lítio em Portugal. Resolução do Conselho de Ministros n.º 11/2018 publicada no Diário da República n.º 22/2018, Série I de 2018-01-31.

10 Barroso Lithium Project: New Scoping Study Savannah, 2023. 51 p. Available at: <https://savannahresources.com>

соседнего месторождения Баррозу), в итоге остановилась на смешанном варианте: открытый карьер для разработки залежей, находящихся ближе к поверхности, и шахта с горизонтальными галереями для добычи минералов более глубокого залегания¹¹. При этом помимо обогатительной фабрики проект предусматривает строительство гидрометаллургического комплекса проектной мощностью 14 тыс. т в год гидроксида лития высокой чистоты, пригодного для производства литий-ионных батарей (*battery-grade*). Эксплуатация месторождения рассчитана на 13 лет.

Этот проект также натолкнулся на сопротивление местного населения. В 2023 г. после долгих согласований было получено положительное заключение экологической экспертизы, хотя и с серьезными оговорками (например, не было согласовано местоположение будущего гидрометаллургического комплекса в связи с тем, что в этих местах обитает стая иберийских волков). После этого в сентябре 2023 г. муниципалитет Монталегри подал ходатайство о наложении судебного запрета с целью остановить дальнейшее согласование проекта. И хотя в июле 2024 г. суд отказал в судебном запрете, в феврале 2025 г. муниципалитет Монталегри выиграл другой судебный процесс, связанный с продажей местными жителями земли, необходимой для производства работ. Муниципалитету удалось доказать, что земля не принадлежала фермерам, ее продавшим, а являлась частью собственности общины¹² и не может быть отчуждена без согласия муниципального совета. Компании было предписано покинуть эти территории, уже занятые строительной техникой.

Борьба местного населения с горнодобывающими компаниями ведется не только в судах. Регулярно проводятся манифестации и митинги против разработки месторождений, ведутся информационные кампании в соцсетях. Еще один проект по расширению разрабатываемого с 1992 г. месторождения кварца и полевого шпата Алварроеш (Гуарда) с целью добычи литийсодержащих пегматитов также столкнулся с протестами и манифестациями в августе 2024 г. Жители близлежащих поселков возражают против увеличения землеотвода с 6 до 32 га, ссылаясь на имеющиеся негативные последствия текущей эксплуатации месторождения. Кроме того, месторождение частично располагается на территории геопарка Серра де Эштрела.

Подобная форма протестного движения связана с тем, что мнение местных жителей слабо учитывается при принятии решений о согласовании проектов. И хотя качество одного из элементов процесса проводятся общественные слушания, требования местного населения имеют лишь рекомендательный характер и ни к чему не обязывают ни согласующие органы, ни предприятия. Отметим, что с аналогичной проблемой население сталкивается также при появлении поблизости новых ветряных и солнечных электростанций, что зачастую сопряжено с вырубкой зеленых массивов и изъятием больших площадей для размещения солнечных панелей. Отсутствие эффективных механизмов взаимодействия в этом случае также приводит к росту протестного движения [5].

На этом фоне активная деятельность правительства Антониу Кошта по продвижению проектов по добыче лития стала причиной роста недоверия со стороны местно-

го населения, опасавшегося большей заинтересованности госорганов в реализации программы по привлечению инвестиций на фоне литиевого бума, нежели правами жителей затронутых регионов. И отчасти эти подозрения имеют свои основания. Например, в муниципалитете Монталегри мэр Орландо Алвеш, поддержавший проект разработки месторождения Роману, столкнулся с настолько резким падением своей популярности, что это даже вынудило его пойти на манипуляции на выборах в местные органы власти. В октябре 2022 г. Орландо Алвеш был арестован по обвинениям в коррупции и подделке документов¹³, а новым мэром стал представитель противников разработки месторождения.

Подозрения в коррупции также послужили поводом для уголовного расследования решений правительства Португалии о концессионных соглашениях по разработке лития в Ботикаш и Монталегри¹⁴, что в итоге привело к отставке премьер-министра Антониу Кошты и досрочным парламентским выборам в конце 2023 г.

Политические перипетии снизили поступательность процессов согласования, и без того идущих с пробуксовками. Сами компании – участники рынка заявляли, что ощущают снижение уровня государственной поддержки¹⁵. Постоянные задержки в оформлении разрешительной документации приводят к постоянным переносам планов по началу коммерческой добычи. Так, Savannah в настоящее время в качестве ориентира называет 2027 г. Действительно, после политического скандала 2023 г., новое правительство не стало форсировать литиевую повестку как минимум в публичном пространстве. Объявление тендеров в рамках государственной программы поиска и разведки лития также отложено на неопределенный срок с учетом новой смены правительства после провала вотума о доверии кабинету Луиша Монтенегру в начале 2025 г.

Одновременно появились первые признаки того, что инвесторы постепенно теряют интерес к литиевому кластеру в Португалии. В ноябре 2024 г. Galp объявил об отмене проекта Аврора из-за банкротства Northvolt и неспособности найти другого партнера. В декабре 2024 г. стало известно, что Stellantis в партнерстве с лидером индустрии CATL (Китай) построят фабрику по производству литий-ионных батарей в Сарагосе (Испания), хотя ранее Португалия рассматривалась как одна из вероятных опций. Наконец, рынок добычи лития не дает поводов для того оптимизма, который присутствовал во второй половине 2010-х годов.

Литиевые проекты в Португалии и ЕС: экологические протесты и забюрократизация

Надо отметить, что за годы, прошедшие с этого времени, на рынке лития произошли серьезные перемены. Активизация поиска залежей лития в мировых масштабах приносит свои плоды. Некоторые публикации даже говорят о «параде» открытых литиевых месторождений в новых странах, например, в Индии и Иране. Кроме того, если ранее в качестве основных источников литийсодержащего сырья обычно выступали растворы солей в солончаках и различные горные породы, то сейчас разрабатываются проекты по получению лития из геотермальных источни-

¹¹ Plano de Lavra Mina do Romano. Projeto concessão de exploração de depósitos minerais de lítio e minerais associados. Lusorescursos, 2021. 811 p.

¹² Специальный правовой режим общинных земель (*baldios*) с правом совместного пользования членами общины закреплен в конституции Португалии.

¹³ Socialista Orlando Alves, autarca de Montalegre, detido por suspeitas de associação criminosa, abuso de poder e recebimento indevido. Observador, 27.10.2022. Available at: <https://observador.pt/2022/10/27/presidente-da-camara-de-montalegre-detido/>

¹⁴ А также по заводу «зеленого» водорода в г. Синеш

¹⁵ Mudança de Governo provoca derrapagem na mina de lítio de Boticas. Jornaleconomico, 01.10.2024. Available at: [https://leitor.jornaleeconomico.pt/edicao/jo-diario/251](https://leitor.jornaleconomico.pt/edicao/jo-diario/251)

ков, из вулканических глин и даже на некоторых нефтяных месторождениях [6].

Что особенно важно в контексте литиевого кластера в Португалии, за это время существенно продвинулись другие проекты по добыче лития в Европе, стартовавшие в условиях меньшей определенности. Например, финский проект Keliber, по-видимому, станет в 2025 г. первым европейским предприятием с полноценным производственным циклом: от добычи сырья до выпуска гидроксида лития высокой чистоты (battery-grade). Среди других европейских проектов на продвинутом этапе согласования окончательного решения о финансировании (ожидается в 2025 г.) находятся немецкий Zinnwald Lithium (Саксония) и чешское СП Cinovec (European Metals и ČEZ), разрабатывающие крупнейшее месторождение Европы Cinovec, большая часть которого находится в Чехии. А компания Vulcan Energy в январе 2025 г. начала выпуск гидроксида лития высокой чистоты на заводе во Франкфурте-на-Майне (Германия), получаемого из термальных вод. На этом фоне динамика португальских проектов выглядит не очень оптимистично.

С другой стороны, задержка реализации проектов по разработке литиевых месторождений не является сугубо португальской проблемой. Например, австралийская East Coast Minerals с 2011 г. пытается получить разрешение на добычу лития в австрийском Вольфсберге (Каринтия), однако сначала не могла договориться с местными жителями насчет землеотвода для подъездной дороги, а затем увязла в бюрократических процедурах. Оформление разрешительной документации на разработку месторождения Cinovec движется быстрее в Чехии, чем у германского предприятия. Наконец, тот же финский проект Keliber, ввод в эксплуатацию которого ожидается в 2025 г., впервые упоминается в отраслевых обзорах за 2007 г. а в 2017 г. его руководство планировало приступить к разработке месторождений в 2020 г. В последнем случае задержки были связаны с протестами местного населения и судебными разбирательствами.

Экологические протесты и излишняя забюрократизированность процедур стали серьезными препятствиями для реализации планов по развитию местной добычи критически важных для климатической политики ЕС материалов [7]. Осознание Евросоюзом необходимости поддержки и ускорения проектов привело к принятию в апреле 2024 г. «Регламента ЕС об обеспечении надежного и устойчивого снабжения критически важным сырьем»¹⁶, которое определяет, какие материалы представляют первоочередной стратегический интерес, вводит целевые ориентиры по обеспечению стратегическим сырьем собственного производства (до 10% спроса на сырье к 2030 г.) и создает условия для ускоренной реализации «стратегических проектов» и их финансирования.

В марте 2025 г. Евросоюз выпустил перечень стратегических проектов в соответствии с Регламентом 2024 г., в который в части лития вошло 9 проектов по добыче: в Испании (2), Португалии (2), Франции (2), Финляндии, Германии и Чехии. Для этих проектов теперь предусмотрена ускоренная процедура согласования, не превышающая по срокам 27 месяцев. Причем в Регламенте оговорено, что стратегические проекты признаются вопросом общественных интересов, и в силу этого должны согласовываться даже в случае умеренного вреда окружающей среды.

¹⁶ Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials. Brussels, 11.04.2024.

В Португалии в перечень вошли оба «застрявших» проекта (Баррозу и Роману). Компании в этой связи выразили оптимизм и надежду на скорое начало работ, однако общественные организации встретили включение оспариваемых местным населением проектов с недоумением и вызвали общественную дискуссию, насколько вообще стране нужна активизация горнодобывающей деятельности. За годы, прошедшие со временем относительной промышленной активности, изменилась структура экономики всей страны. Структурная перестройка в пользу развития сферы услуг, в первую очередь туризма, позволила Португалии сохранять темпы экономического роста в настоящее время, когда экономика таких локомотивов европейской экономики, как Франция и Германия, как минимум затормозилась [8]. Эта трансформация сделала благоприятную экологию и природные ландшафты важным активом, привлекающим как местных, так и международных туристов. В этих условиях горнодобывающая деятельность очевидно негативно повлияет на привлекательность региона как на время добычи лития, так и после нее, так как появление карьеров и терриконов явно не будет способствовать улучшению ландшафта [9]. И позитивный эффект от отчислений в местные бюджеты во время разработки месторождений не скомпенсирует настоящие и будущие потери спустя 10–15 лет, когда запасы лития закончатся.

С другой стороны, нарушение интересов местного населения в угоду добыче стратегического сырья под лозунгом реализации целей климатической политики всего Евросоюза обостряет целый ряд застарелых проблем неравномерного экономического развития стран ЕС, отношений «центр – периферия» и роста евроскептицизма [10]. Стремление далеких от проблем местного населения органов евробюрократии по ускорению и упрощению согласовательных процедур новых проектов лишь будут усиливать тенденции эрозии социальной модели Евросоюза [11].

Заключение

Пока неясно, насколько включение в перечень ЕС реально поможет португальским проектам. В отсутствие видимых успехов перспективы лития в Португалии остаются неопределенными. И если в 2016 г., во время литиевого бума, Португалия выделялась в Евросоюзе наличием активной добычи, то спустя десятилетие ее объемы не изменились, а инвестиционная привлекательность литиевых проектов в стране снизилась на фоне более активных конкурентов в ЕС.

С другой стороны, перспективы мировой литиевой промышленности также сохраняют высокую степень неопределенности. Вполне возможно, что инновационный прогресс предложит альтернативные литий-ионным батареям решения, и потребность в литии резко снизится. Например, многообещающим выглядит прогресс в совершенствовании натрий-ионных аккумуляторов, имеющих схожие характеристики, но использующих более доступные и дешевые материалы. Учитывая относительно небольшие размеры португальских месторождений лития и ограниченные одним десятилетием сроки их разработки, возможно отсутствие излишней спешки с разработкой новых месторождений может на деле оказаться правильной стратегией, так как изменившиеся рыночные реалии вполне могут привести к нерентабельности их разработки. Излишняя поспешность в следовании целеуказаниям политики ЕС в таком случае приведет к необходимости рекультивации большого

количества убыточных карьеров для восстановления утраченных природных ландшафтов в условиях отсутствия для этого соответствующих средств и снижения туристической привлекательности.

Представляется, что новое правительство не будет формировать программу поиска и разведки вопреки социальным протестам и в ущерб экологии. Что касается проектов

добычи лития в Баррозу и Монталегри, то, по всей видимости, в конечном итоге они состоятся и первые результаты деятельности этих «пилотных» проектов станут основанием для последующих решений.

Список литературы / References

1. Zografs C., Robbins P. Green sacrifice zones, or why a green new deal cannot ignore the cost shifts of just transitions. *One Earth*. 2020;3(5):543–546. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.10.012>
2. Balaram V., Santosh M., Satyanarayanan M., Srinivas N., Gupta H. Lithium: A review of applications, occurrence, exploration, extraction, recycling, analysis, and environmental impact. *Geoscience Frontiers*. 2024;15(2):101868. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2024.101868>
3. Сумин А.М. Реформирование рынка электроэнергии: опыт Португалии Энергетическая политика. 2018;(6):139–147. Sumin A.M. Transformatioin of an electricity market: Portugal's experience. *Energy Policy*. 2018;(6):139–147. (In Russ.)
4. Chaves C., Pereira E., Ferreira P., Dias A.G. Concerns about lithium extraction: A review and application for Portugal. *The Extractive Industries and Society*. 2021;8(3):100928. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.100928>
5. Brás O.R., Ferreira V., Carvalho A. People of the sun: Local resistance and solar energy (in)justice in southern Portugal. *Energy Research & Social Science*. 2024;113:103529. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103529>
6. Gourcerol B., Gloaguen E., Melleton J., Tuduri J., Galiegue X. Re-assessing the European lithium resource potential – A review of hard-rock resources and metallogeny. *Ore Geology Reviews*. 2019;109:494–519. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.04.015>
7. Кондратьев В.Б. Роль критически важных сырьевых материалов в условиях экономической неопределенности: опыт ЕС. *Горная промышленность*. 2022;(4):94–102. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-4-94-102>
Kondratiev V.B. The role of critical raw materials in conditions of economic uncertainty: the EU experience. *Russian Mining Industry*. 2022;(4):94–102. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-4-94-102>
8. Яковлев П.П., Яковleva Н.М. Экономика Португалии через полвека после «Революции гвоздик». Опыт концептуального осмысления. *Латинская Америка*. 2024;(11):6–21. <https://doi.org/10.31857/S0044748X24110015>
Yakovlev P.P., Yakovleva N.M. The economy of Portugal half a century after the “Carnation Revolution”. An experience of conceptual interpretation). *Latinskaya Amerika*. 2024;(11):6–21. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0044748X24110015>
9. Dunlap A., Riquito M. Social warfare for lithium extraction? Open-pit lithium mining, counterinsurgency tactics and enforcing green extractivism in northern Portugal. *Energy Research & Social Science*. 2023;95:102912. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102912>
10. Zimakov A.V., Popov E.V. EU Cohesion Policy 2021–2027: New Tools to Foster European Integration? In: Ashmarina, S.I., Horák, J., Vrbka, J., Šuleř, P. (eds) *Economic Systems in the New Era: Stable Systems in an Unstable World*. IES 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 160. Springer, Cham; 2021, pp. 148–156. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60929-0_20
11. Лункин Р.Н. Факторы эрозии социальной модели Евросоюза. *Современная Европа*. 2024;(7):182–195. Режим доступа: <http://www.sov-europe.ru/2024-7/faktory-erozii-sotsialnoj-modeli-evrosoyuza.html> (дата обращения: 06.03.2025).
Lunkin R.N. Factors of the EU social model's erosion. *Contemporary Europe*. 2024;(7):182–195. (In Russ.) Available at: <http://www.sov-europe.ru/2024-7/faktory-erozii-sotsialnoj-modeli-evrosoyuza.html> (accessed: 06.03.2025).

Информация об авторе

Андрей Владимирович Зимаков – кандидат экономических наук, научный сотрудник Центра европейских исследований, Национальный исследовательский институт Мировой экономики и международных отношений имени Е.М. Примакова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-6574-6258>, Scopus Author ID 57194103489; e-mail: andrey.zimakov@yandex.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 03.05.2025
Поступила после рецензирования: 05.06.2025
Принята к публикации: 18.06.2025

Information about the author

Andrei V. Zimakov – Cand. Sci. (Econ.), research fellow Center for European Studies, Primakov Institute of World Economy and International Relations, Russian Academy of Sciences; Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-6574-6258>, Scopus Author ID 57194103489; e-mail: andrey.zimakov@yandex.ru

Article info

Received: 03.05.2025
Revised: 05.06.2025
Accepted: 18.06.2025



С ДНЁМ ШАХТЁРА!





ДВИЖЕМ ЭВОЛЮЦИЮ ГОРНЫХ РАБОТ

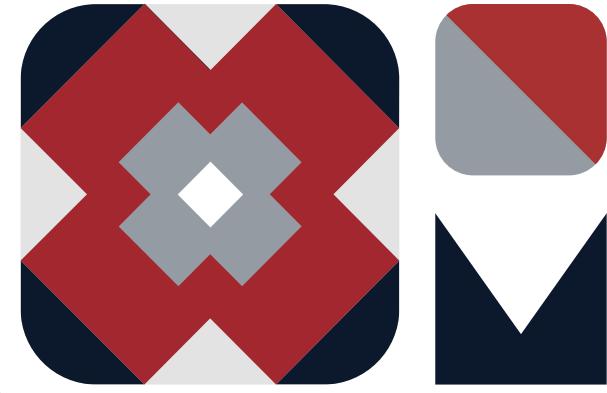
16+

РЕКЛАМА



16+

РЕКЛАМА



ПОДРЯДНОЕ ДРОБЛЕНИЕ



Подрядное дробление с сухой магнитной сепарацией

Преимущества:

- ❖ Увеличение производительности основной линии ОФ;
- ❖ Увеличение концентрации железа в конечном продукте за счёт более качественной отработки приконтактных зон;
- ❖ Отсутствие затрат на содержание собственного ДСК;
- ❖ Отсыпка дорог на рудном горизонте рудой с высоким содержанием железа → предотвращение разубоживания.

