

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

30 ЛЕТ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Горная

ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

RUSSIAN MINING INDUSTRY JOURNAL

№ 4 / 2024



www.ogkgroup.ru

16+

РЕКЛАМА

ОГК ГРУПП – ВЕДУЩИЙ ПОСТАВЩИК
СЕРВИСНЫХ УСЛУГ В ГОРНОЙ ОТРАСЛИ



element

Неправильно
подобранный
сегмент чаши

40% длины конвейерной ленты получили критичные порывы в течение года из-за большого количества лещадного продукта крупного размера после первичной стадии переработки руды



Утолщенный сегмент
чаши Element

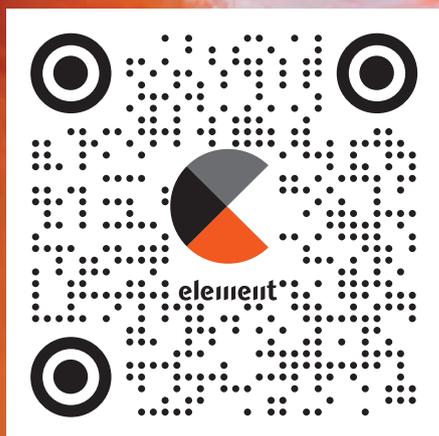


Бесперебойная работа конвейерной ленты, без порывов более 1 года благодаря уменьшению разгрузочной щели дробилки

Правильно подобранные
футеровки дробилки
обеспечивают
бесперебойную
работу
смежного
оборудования

**Хотите
также?**

Отсканируем
комплектующие
техники
любых брендов
бесплатно* и
предложим решение



*Предложение не является публичной офертой



16+

РЕКЛАМА

Предприятия-изготовители:

АО «ГМС Ливгидромаш»;
ОАО «Бобруйский
машиностроительный завод»

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- Производительность: до **8 000** м³/ч
- Напор: до **100** м
- Мощность привода: до **3 200** кВт
- Размер перекачиваемых частиц: до **200** мм

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

- Новая конструкция корпуса
- Оптимизированная проточная часть
- Усиленные основные узлы
- Герметичный внутренний корпус
- Надёжные подшипники
- Взаимозаменяемость с насосами ГрАТ

АО «ГИДРОМАШСЕРВИС» —

объединённая торговая компания Группы ГМС
Россия, 125252, Москва, ул. Авиаконструктора Микояна, 12
телефон: +7 (495) 664 81 71



ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ НАСОСЫ И КОМПРЕССОРЫ ДЛЯ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

НАСОСЫ

- Грунтовые насосы для тяжёлых условий эксплуатации **HDP** (Heavy Duty Pumps)
- Насосы двустороннего входа **DeLium**
- Секционные насосы **GP** водоотливных установок подземных рудников
- Вакуумные водокольцевые насосы **ВВН**

КОМПРЕССОРЫ

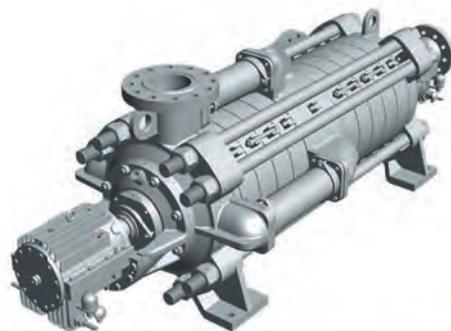
- Центробежные компрессоры
- Мультипликаторные компрессорные установки
- Винтовые компрессорные установки

УСЛУГИ

- Аудит и модернизация объектов водоснабжения и водоотведения предприятий и ГОКов
- Строительство и комплектация технологическим оборудованием

АО «ГИДРОМАШСЕРВИС» —

объединённая торговая компания Группы ГМС
Россия, 125252, Москва, ул. Авиаконструктора Микояна, 12
Тел.: +7 (495) 664 81 71
E-mail: info@hms.ru
www.hms.ru





Белгородская обл., п. Яковлево, ул. Южная, д.12
тел.: +7 (4722) 50-02-31 | e-mail: office@rudchem.ru

Завод ООО «РудХим» уже более 5 лет производит высококачественную продукцию, технику и технологии. Предприятие специализируется на производстве эмульгаторов, обратных эмульсий для горнорудной и нефтегазодобывающей промышленности.

Главным преимуществом компании является технологический суверенитет с акцентом на промышленную и технологическую безопасность.



rudchem.ru



Разработка и производство эмульгаторов, обеспечивающих высокую стабильность эмульсионной матрицы при приготовлении смесей на ее основе с ANFO, стойкость к многократному перекачиванию, для изготовления патронированных ЭВВ со сроком хранения не менее 12 месяцев.





Полностью отечественный современный способ замещения любых патронированных, тротилсодержащих и гранулированных взрывчатых веществ. Используется для заряжания шпуров и скважин наливным эмульсионным взрывчатым веществом АРГУНИТ РХ как при открытой разработке, так и в подземных условиях шахт рудников.

16+

РЕКЛАМА

Инженерно-техническое сопровождение специалистами компании при внедрении техники и технологии на горнорудных предприятиях России и Республики Казахстан, выполнение всех необходимых расчетов логистики предоставления товаров и услуг.

Содержание

- 8** **Официальные приветствия с Днём шахтёра**
А. Черепанова
- 14** **Распадская угольная компания: Российско-китайский тандем не подведет**
Е. Светличная
- 18** **Новые горизонты ООО «ММК-УГОЛЬ»**
- 22** **Компания «Колмар»: Спустимся в шахту: откроем главные секреты**
- 26** **Новая Горная Управляющая Компания: Три юбилея**
- 30** **Результат проведения промышленных испытаний самопередвижной приводной накопительной системы СПНС производства ООО «Сибэлектро»**
- 32** **СтройИмпортТехника – официальный дистрибьютор ведущих китайских производителей**
В.С. Солдатов
- 36** **АО «Машиностроительный холдинг» запускает в производство линейку подземных буровых самоходных установок для обеспечения полного цикла буровых работ**
- 40** **Экономичный и производительный ЧЕТРА Т30.03**
- 42** **ООО «НовосибАРЗ-Сталь»: Заказчик в центре процесса**
- 44** **НТЦ-Геотехнология»: 20 лет эффективных решений для горной промышленности**
- 46** **Rosneft Revolux D3 LL 15W-40 – надёжная защита двигателя**
- 48** **ОАО «Зенит»: Светотехника для тяжелых условий эксплуатации**
- 49** **Самосвал TITAN: 120 тонн достоинств**
- 52** **О перспективах развития горнопромышленного комплекса Арктической зоны Мурманской области**
Интервью с Т.В. Русской
- 54** **АО «НИИПП»: Стабильность работы оборудования – залог безопасности производства**
- 56** **Компания DEKREE: Электрификация подземной добычи: перспективы экологически чистого развития**
Г.П. Берсенёв, В.А. Кутуев, В.А. Воробьев, И.В. Воробьев
- 58** **Итоги конференции взрывников Урала, состоявшейся на площадке компании ООО «ЮЖУРАЛВЗРЫВПРОМ»**
- 62** **Выставка «Уголь России и Майнинг-2024» расширила экспозицию**
- 67** **Горняцкая слава и горняцкая честь**
Памяти Юрия Николаевича Малышева
- Оригинальные статьи**
- Н.В. Гончар, В.А. Пикалов, А.В. Соколовский, М.А. Терешина
- 68** **Экологосбалансированная геотехнология освоения природных и техногенных георесурсов**
А.К. Кирсанов, С.А. Вохмин, Г.С. Курчин, Е.П. Волков
- 75** **Добыча полезных ископаемых в космосе: обзор современных исследований и разработок**
В.Е. Кисляков, П.В. Катышев, А.Н. Анушенков, Я.Е. Линьков, А.К. Кирсанов
- 81** **Изучение влияния низких температур окружающего воздуха и морской воды на возможность добычи твердых полезных ископаемых в арктических водах**
В.С. Великанов, А.В. Дреммин, С.А. Чернухин, Н.В. Ломовцева
- 90** **Технологии нейронных сетей в интеллектуальном анализе данных гранулометрического состава взорванных пород**
В.В. Дьяченко, В.А. Туркин, А.Е. Воробьев, В.В. Кукарцев, Я.А. Тынченко
- 96** **Механизмы формирования оползней повышенной опасности (быстрых и протяженных)**
С.С. Кобылкин, А.С. Кобылкин, Сис Муе, Альфа Мамаду Барри
- 102** **Моделирование в ANSYS CFD процесса проветривания карьеров**
Е.И. Шешукова, Д.А. Шибанов, С.Л. Иванов, П.В. Шишкин
- 108** **Оценка нагрузок приводов рабочего оборудования карьерного экскаватора (часть 2)**
А.А. Мякотных, П.В. Иванова, С.Л. Иванов
- 116** **Критерии и технологические требования создания мостовой платформы добычи торфяного сырья для климатически нейтральной геотехнологии**
М.В. Рыльникова, Д.А. Клебанов, В.В. Рыбин, И.Ю. Розанов
- 121** **Контроль и управление геомеханическим состоянием и устойчивостью конструктивных элементов горнотехнических конструкций карьеров на основе сбора и анализа больших данных**
К.В. Харченко, А.Ж. Зубец, Е.И. Москвитина, Л.М. Бабаян, А.М. Лаффак
- 130** **Анализ эффективности внедрения предиктивного обслуживания горнодобывающего оборудования на основе технологий Индустрии 4.0**
В.А. Портола, С.И. Протасов, Е.А. Серегин
- 140** **Исследование температуры и выделения газов в очагах эндогенных пожаров на породных отвалах**
И.В. Богоявленский
- 147** **Исследования газозрывоопасных объектов в верхней части разреза с применением беспилотных летательных аппаратов. Статья 1**
К.Э. Чуприн, В.А. Еременко, А.К. Зарлыков, К.З. Курманалиев
- 155** **Характеристика дискретности и мозаичности блоков оруденения и безрудных блоков штокверкового золоторудного месторождения Джеруй**
И.В. Гладков, Е.Н. Якунчиков, А.Е. Румянцев, М.А. Соннов
- 165** **Моделирование влияния открытых горных работ на состояние нижележащего массива при планировании отработки подземным способом с применением программного комплекса CAE Fidesys**
А.Ф. Клебанов, Ю.Л. Жуковский, Д.А. Клебанов, А.В. Бондаренко
- 174** **Организация удаленных центров управления горным предприятием: стратегические предпосылки и этапы реализации**

Contents

- 8** Official greetings for Miner's Day
A. Cherepanova
- 14** Raspadskaya Coal Company: The Russian-Chinese tandem will not let you down
Elena Svetlichnaya
- 18** New prospects for MMK-Ugol LLC
- 22** Kolmar Coal Mining Company: Let's go down the mine: the main secrets for you to discover
- 26** New Mining Management Company: Three anniversaries
- 30** Result of industrial tests of the SPNS self-propelled drive storage system produced by Sibelectro LLC
- 32** StroyImportTechnika - an official distributor of leading Chinese manufacturers
V.S. Soldatov
- 36** Machine-Building Holding launches a line of underground mobile drill rigs to ensure a complete cycle of drilling operations
- 40** Cost-effective and productive CHETRA T30.03
- 42** NOVOSIBARZ-STEEL: customer-focused process
- 44** GEOTECH: 20 years of efficient solutions for the mining industry
- 46** Reliable engine protection with ROSNEFT REVOLUX D3 LL 15W-40
- 48** Lighting equipment for harsh operating conditions by ZENIT JSC
- 49** TITAN Dump Truck: 120 tonnes of advantages
- 52** On development prospects of the mining industry in the Arctic Zone of the Murmansk Region
- 54** Research Institute of semiconductor Devices: Stability of equipment operation is a recipe for industrial safety
- 56** DEKREE: Electrification of underground mining: prospects for environmentally friendly development
G.P. Bersenev, V.A. Kutuev, V.A. Vorobyev, I.V. Vorobyev
- 58** Results of the Urals Blasting Experts Conference held at Yuzhuralvzryvprom LLC
- 62** The Ugol Rossii and Mining Trade Fair has expanded its exhibition space
- 67** The miner's glory and honour
In memory of Yuri Malyshev

Original papers

- 68** Environmentally balanced geotechnology for development of natural and man-made geological resources
N.V. Gonchar, V.A. Pikalov, A.V. Sokolovsky, M.A. Tereshina
- 75** Space mining: a review of current research and developments
A.K. Kirsanov, S.A. Vokhmin, G.S. Kurchin, E.P. Volkov
- 81** Study of the impact of low ambient air and seawater temperatures on the possibility of mining solid minerals in arctic waters
V.E. Kislyakov, P.V. Katyshev, A.N. Anushenkov, Ya.E. Linkov, A.K. Kirsanov
- 90** Neural network technologies in mining data on particle size distribution of muck pile rocks
V.S. Velikanov, A.V. Dremin, S.A. Chernukhin, N.V. Lomovtseva
- 96** Mechanisms of high hazard landslide formation (rapid and slow)
V.V. Dyachenko, V.A. Turkin, A.E. Vorobei, V.V. Kukartsev, Ya.A. Tynchenko

- S.S. Kobylkin, A.S. Kobylkin, Sis Mue, Alpha Mamadou Barry
- 102** Modeling of open pit ventilation in ANSYS CFD
E.I. Sheshukova, D.A. Shibanov, S.L. Ivanov, P.V. Shishkin
- 108** Assessment of loads at the working attachment of a mine shovel (Part 2)
A.A. Myakotnykh, P.V. Ivanova, S.L. Ivanov
- 116** Criteria and technological requirements for creation of a bridge platform to extract peat raw materials for climate-neutral geotechnology
M.V. Rylnikova, D.A. Klebanov, V.V. Rybin, I.Yu. Rozanov
- 121** Control and management of geomechanical state and stability of structural elements of mining engineering elements in open-pit mines based on Big Data collection and analysis
K.V. Kharchenko, A.Zh. Zubets, E.I. Moskvitina, L.K. Babayan, A.M. Laffah
- 130** Analyzing the efficiency of implementing predictive maintenance of mining equipment based on Industry 4.0 technologies
V.A. Portola, S.I. Protasov, E.A. Seregin
- 140** Investigation of temperature and gas release in spontaneous fires at rock dumps
I.V. Bogoyavlensky
- 147** Research of gas-explosive objects in the upper part of the section using unmanned aerial vehicles. Article 1
K.E. Chuprin, V.A. Eremenko, A.K. Zarlykov, K.Z. Kurmanaliev
- 155** Discreteness and mosaic characteristics of mineralization and ore-free blocks of the Jeruy stockwork gold deposit
I.V. Gladkov, E.N. Yakunchikov, A.E. Rumyantsev, M.A. Sonnov
- 165** Modeling the impact of surface mining operations on the condition of the underlying rock mass when planning underground mining operations using the CAE Fidesys software suite
A.F. Klebanov, Yu.L. Zhukovsky, D.A. Klebanov, A.V. Bondarenko
- 174** Establishing remote control centers of a mining operation: strategic prerequisites and implementation stages

Advertising index:

IMC Montan	21
FNGROUP	вклейка
АЗОТТЕХ, ООО	107
Астериас, ООО	139
ГИНТЕЛЛ, ООО	39
НПФ «ГРАНЧ», ООО	29
Давтех, ООО	115
Девис Дерби Сибирь, ООО	25
ЕРТ-Групп, ООО	вклейка
НМЗ «Искра», АО	25
Карьер-Сервис, ООО	вклейка
Магаданский механический завод, АО	89
Магнитогорский металлургический комбинат, ПАО	95
НПК «Механобр-техника», АО	74
МИАКОМ СПб, ООО	вклейка
МУФТА ПРО, ООО	35
НИИПП, АО	55
НТЦ-Геотехнология, ООО	43
Петербургский Тракторный завод, АО	173
РОСНЕФТЬ Смазочные материалы	47
РудХим, ООО	2-3
СпецДорМаш, ООО	101
Спецмаш, ООО	129
Флотент Кемикалс Рус, ООО	146
Этит-Базальт, ООО	39

On the cover:

АО «ОГК Групп»; АО «Майнинг Элемент»; АО «Гидромашсервис»; АО «Эваблэст Рус»; ООО «Техстройконтракт»

Главный редактор:

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

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

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

Яновский Анатолий Борисович, д-р экон. наук, канд. техн. наук,
Москва, РФ

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

Бортников Николай Стефанович, Научный руководитель Института
геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и гео-
химии РАН, академик РАН, Москва, РФ

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

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

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

Барях Александр Абрамович, Директор Пермского федеральный
исследовательский центра Уро РАН, академик РАН, Пермь, РФ

Будзуляк Богдан Владимирович, Президент НП «Саморегулируемая
организация Объединение строителей газового и нефтяного комплек-
сов», 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

Хисамов Раис Салихович, д-р геол.-минерал. наук, г. Альметьевск, РФ

Милетенко Николай Васильевич, советник генерального директора
Вероссийского научно-исследовательского геологического института
им. А.П. Карпинского, ученый 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 ИРНТИУ, 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

Клишин Владимир Иванович, чл.-корр. РАН; д-р техн. наук; профес-
сор, Институт угля ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр
угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук»,
директор, г. Кемерово, РФ

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

Корнилков 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 ФГБНУ «Институт экономики и организации промыш-
ленного производства Сибирского Отделения РАН», Новосибирск, РФ

Лукичев Сергей Вячеславович, д-р техн. наук, профессор, Горный
институт Кольского научного центра РАН, директор, 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; проф., директор по науке
АО «Росинформуголь», Москва, РФ

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

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

Чеботарев Александр Григорьевич, д-р мед. наук, профессор, ФГБНУ
«Научно-исследовательский институт медицины труда имени акаде-
мика Н.Ф. Измерова», Главный научный сотрудник, 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, ФГАОВ ВО «УрФУ имени
первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, РФ

Карстен Дребенштедт, профессор, Заведующий Кафедры открытых
горных работ, Технический университет «Фрайбергская горная акаде-
мия», 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 НАН 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. Горочнина, А.А. Раизин, Н.В. Матвиевская, Е.В. Белякова.

Отпечатано в типографии ООО «Роликс».

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

Дата выхода в свет: 23.08.2024

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:

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

Anatoliy B. Yanovskiy, Doctor of Science (Economics), 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, Director, 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

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

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

Rais S. Khisamov, Doctor of geol.-miner. sciences, Russia

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. Dmitrievskiy, 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

Vladimir I. Klishin, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences; Doctor of Engineering, Professor; Institute of Coal of Federal Research Centre for Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Director, 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, Yekarinburg, 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. Plakitkin, 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

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

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

Alexander G. Chebotarev, Doctor of Medicine, Professor; Izmerov Research Institute of Occupational Health, Chief Scientific Officer, 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 Drebenstedt, 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

Publication Frequency: bimonthly (6 issues per year)

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

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

e-mail: info@mining-media.ru

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

Printing House: Roliks, Moscow
+7 (495) 661-46-22

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

Appearance: 23.08.2024

Editorial

Director General,
Publisher

Elena V. Anistratova
eanistratova@mining-media.ru

Deputy Chief Editor

Aleksey A. Raizin
at@mining-media.ru

Managing Editor

Galina A. Demina
info@mining-media.ru

Advertiser

Nataliya V. Matvievskaya
pr@mining-media.ru

Events

Elena V. Belyakova
event@mining-media.ru

Design, layout

Larisa V. Pavlova



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*Ветеранам, шахтёрам и работникам
угольной промышленности России*



С.Е. Цивилев,
*Министр энергетики
Российской Федерации*

Уважаемые ветераны, шахтёры и работники угольной промышленности!

Поздравляю вас с профессиональным праздником – Днём шахтёра!

Вы выбрали трудную, сложную, но такую необходимую и уважаемую профессию. Горняки всегда были примером особой твёрдости, мужества, готовности к взаимовыручке и товарищеской поддержке.

История отечественной угольной промышленности насчитывает более 300 лет непрерывного развития. Совместными усилиями российские угольщики построили современную и эффективную отрасль. Сегодня мы по праву можем гордиться достижениями отечественного углепрома – Россия занимает третье место в мире среди экспортёров и шестое по объёму добычи угля.

Время ставит перед нами серьёзные задачи. Одна из них – достижение технологического суверенитета в топливно-энергетическом комплексе, в том числе, в угольной промышленности. Углепром всегда был и остаётся в основе энергобезопасности России. Многое предстоит сделать: внедрять перспективные технологии, осваивать новые месторождения Сибири и Дальнего Востока, продолжать улучшать условия труда горняков. Все эти задачи, уверен, будут успешно выполнены. Результаты этой работы станут наследием, которое мы передадим нашим детям и внукам.

Желаю вам неутомимой энергии и стремления двигаться вперёд, а вашим семьям – здоровья и уверенности в завтрашнем дне.

С праздником!



Российский независимый профсоюз работников угольной промышленности



И.И. Мохначук,
председатель Росуглепрофа

Уважаемые шахтёры, ветераны угольной промышленности!

Поздравляю вас с профессиональным праздником – Днём шахтёра. Для жителей шахтёрских городов и посёлков, имеющих неразрывную связь с добычей чёрного золота, это – главный праздник. В этот день мы чествуем шахтёров – людей одной из самых героических профессий, ежедневно совершающих трудовой подвиг.

Угледобывающая промышленность играет ведущую роль в экономике страны. С ней неразрывно связаны развитие социальной сферы и энергетическая независимость России.

Тяжелый и опасный труд шахтёров является одним из важных факторов – экономического развития государства.

От эффективного труда, ответственности, самоотдачи и профессионального мастерства каждого шахтёра зависят тепло и свет в домах, энергетическая безопасность нашей Родины.

Желаю вам здоровья, мягкого угля и твёрдой кровли, продуктивной и безаварийной работы, удачных спусков и благополучных подъёмов, достатка и уверенности в завтрашнем дне.

Мира и благополучия вам и вашим семьям.





Администрация Правительства Кузбасса



И.В. Середук,
*Временно исполняющий
обязанности губернатора
Кемеровской области —
Кузбасса*

Поздравление с Днём шахтера

Уважаемые ветераны и работники угольной отрасли!

Поздравляю вас с Днём шахтера – самым главным профессиональным праздником Кузбасса. Угольная отрасль – базовая для нашей экономики. Здесь трудятся порядка 100 тысяч человек. Они добывают половину российского угля, в том числе 65% особо ценных коксующихся марок.

Отрасль не только обеспечивает энергетическую безопасность, но и является залогом стабильного развития социальной сферы. Действующие предприятия заботятся о своих сотрудниках, создают новые рабочие места, вкладывают средства в развитие муниципалитетов, на территории которых находятся.

Большое место сегодня отводится развитию и внедрению в производство инновационных технологий, над которыми работает НОЦ «Кузбасс-Донбасс». За пять лет ученым совместно с производственниками удалось разработать и внедрить в реальную экономику 176 новых технологий и интеллектуальных продуктов. Разработки НОЦ помогают сделать труд в угольной отрасли более эффективным, экологичным и безопасным, а также обеспечить переход предприятий на отечественное оборудование.

В преддверии праздника хочу выразить благодарность всей гвардии шахтеров, горняков, обогатителей нашей страны за преданность выбранному делу, за весомый вклад в развитие промышленного потенциала России. Спасибо ветеранам отрасли, которые создали надежную основу для сегодняшних достижений, сохранили лучшие шахтерские традиции, воспитали достойную смену.

Пусть проверенные годами горняцкая дружба и ответственность помогают вам достигать намеченных целей, уверенно идти вперед к трудовым победам. Пусть ваши семьи всегда будут для вас крепким тылом и поддержкой.

С праздником!

Уважаемые работники и ветераны угольной промышленности! Поздравляю вас с нашим общим профессиональным праздником!



В.А. Язев,
*Президент Ассоциации
«Горнопромышленники России»,
главный редактор журнала
«Горная промышленность»*

Угольная отрасль является стратегически важным звеном в экономике России, от состояния дел в которой напрямую зависят энергетическая безопасность страны, развитие промышленности и инфраструктуры, тепло и уют в доме наших граждан.

В условиях жесточайших санкций уровень добычи угля сохраняется на достигнутом уровне. Евросоюз ввел запрет на импорт российского угля. В результате российским компаниям пришлось переориентировать поставки с западного рынка на восточный. По итогам 2023 г. на страны Азиатско-Тихоокеанского региона пришлось 83% российского экспорта. Россия продолжит наращивать объемы поставок угля в страны АТР.

Сегодня угольная промышленность России имеет надежную и стабильную перспективу. Продолжается технологическое развитие отрасли, цифровизация шахт и разрезов, особое внимание уделяется экологической повестке. Ведётся работа над улучшением условий труда шахтёров и повышением безопасности ведения горных работ.

Добыча угля все больше смещается на месторождения в восточной части России, планируется освоение месторождений угля в Арктике.

Для Ассоциации «Горнопромышленники России», отмечающей в 2024 г. свое 25-летие, сотрудничество с угледобывающими компаниями было и остается одним из приоритетных направлений. Мы работаем с угольными регионами России на основе постоянных соглашений и готовы оказывать всестороннюю поддержку нашим коллегам.

От имени Ассоциации «Горнопромышленники России», Высшего горного совета, редакции журнала «Горная промышленность» и от себя лично желаю всем работникам угледобывающего комплекса России новых трудовых свершений, безопасной работы, крепкого здоровья! Желаю всем удачи и успехов!

Надеюсь, что в дальнейшем вместе с вами мы сможем решить очень многие задачи, в том числе в производственной и социальной сферах, достигнем высоких результатов!

С праздником вас! С Днем шахтёра!



К.К. Соколов,
*Первый заместитель
генерального директора
по корпоративным функциям
ПАО «Селигдар»*

Уважаемые коллеги!

Позвольте поздравить Вас с профессиональным праздником – Днем шахтера!

Эта профессия была и остается одной из самых трудных и рискованных, но при этом крайне необходимой для нашей страны. Нелегкий труд шахтеров дает нам тепло и свет, жизнь промышленности, является залогом стабильного развития экономики ряда российских регионов.

Сегодня многие российские предприятия эффективно внедряют современные технологии благодаря чему добиваются роста собственных производственных и финансовых показателей.

Профессиональный праздник объединяет людей самых различных специальностей, которые занимаются добычей минерального энергетического сырья. Благодаря труду работников горнодобывающей отрасли, их трудолюбию и профессионализму Россия является одной из ведущих горнодобывающих стран мира.

Желаю всем вам крепкого здоровья, благополучия и успехов во всех начинаниях. Пусть ваша жизнь будет наполнена радостью, счастьем и любовью близких людей!





Владимир Мельниченко,
генеральный директор
Распадской угольной компании



РАСПАДСКАЯ

Уважаемые коллеги!

***От всей души поздравляю вас
с профессиональным праздником –
Днём шахтёра!***

Горное дело требует от человека особых качеств – колоссальной выдержки и концентрации внимания, высокой степени ответственности и профессионализма. Здесь работают люди целеустремленные и сильные, особой закалки и твёрдости характера.

Распадская угольная компания объединяет лучшие горняцкие традиции и современные производственные технологии. Сегодня важнейшие приоритеты компании – высокий уровень промышленной безопасности, производство качественной угольной продукции, применение наилучших цифровых технологий, забота об окружающей среде.

День шахтёра – наш общий профессиональный праздник. Его по праву отмечают горняки шахт и разрезов, работники обогатительных фабрик и предприятий смежных отраслей – ремонтной, монтажной, железнодорожной, автотранспортной и других. Мы вместе работаем на результат – добываем высококачественный уголь и обеспечиваем стабильное развитие промышленности Кузбасса и России.

Желаю вам успешной и безопасной работы, крепкого здоровья, личного большого счастья. Пусть уют и благополучие, любовь и радость всегда будут рядом с вами! Пусть каждый новый день приносит только положительные эмоции и новые свершения!





Российско-китайский тандем не подведет

Распадская обновляет горно-шахтное оборудование. Для шахт «Распадская», «Усковская», «Алардинская» и «Ерунаковская-VIII» компания уже приобрела современные добычные комбайны, а также другую технику китайского и российского производства. Расширение парка горных машин в этом году продолжится.

Первый на шахте, четвертый в компании

На шахте «Алардинская» начали монтировать новый добычной комбайн MG 650/1660. Для этого рядом с участком ремонта забойного оборудования провели планировку площадки, выставили здесь решетчатый став конвейера, на котором монтируют комбайн. Затем начали стыковать составные части. Горную машину включают только после их окончательной установки. Важно проверить взаимосвязку с конвейером: как он двигается по ставу, как взаимодействует с приводными станциями.

Новый комбайн будет применяться в лаве 3-42, которую планируется ввести в работу в октябре 2024 г. Времени, чтобы оценить надежность техники, достаточно. Но уже сейчас видны ее сильные стороны.

Плюсы нового комбайна:

- суммарная мощность двигателей комбайна более 1,5 тыс. кВт;
- усиленные металлоконструкции;
- высокий клиренс.

В комплексе все это позволит комбайну работать с большой производительностью.



«Всегда интересно собирать новую технику», – говорят специалисты РЗО

Андрей Нагорный, механик сервисной компании «Чайна Коул Сервис», которая обслуживает новые комбайны:

В Кузбассе сейчас всего несколько таких комбайнов. Их габариты и технические характеристики хорошо подходят шахтам Распадской угольной компании.

Перемонтажи пойдут быстрее

Для управления монтажом, демонтажом и ремонтом горно-шахтного оборудования (УМГШО) Распадская приобрела новые дизелевозы. Машины уже участвовали в перемонтаже лавы на шахте «Есаульская». Теперь их готовят к работе на «Усковской»: здесь они тоже будут задействованы при переезде в новый очистной забой.

Прежде УМГШО занималось только монтажно-демонтажными работами, а за транспортировку секций дизелевозами отвечали шахта или подрядчики. Теперь, когда у горномонтажников появился собственный транспорт, они полностью контролируют весь процесс – демонтаж секций, их перевозку и монтаж в лавках.

Три новых дизелевоза – подвесные, один – напчвенный. Его будут использовать в выработках с неустойчивой кровлей. Кроме того, благодаря использованию в качестве движителя цевочного (зубчатого) колеса дизелевоз развивает более высокое тяговое усилие, а лучшее сцепление позволяет работать на самых крутых пластах.



Первым на «Усковской» смонтировали мощный 12-приводный дизелевоз, способный перевозить грузы на крутых пластах с большим углом

Российско-китайский тандем

Добывать уголь с выемочного участка 48-10 шахтеры «Усковской» будут с помощью горно-шахтного оборудования китайского и российского производства. Его применили в составе очистного механизированного комплекса.

Лавный конвейер «Анжера-42» спроектирован и изготов-



Александр Сибгатуллин впервые участвует в сборке нового лавного привода – это сложная масштабная работа

лен на заводе «Анжеромаш» специально под горно-геологические условия «Усковской». Это высококлассный образец горно-шахтного оборудования (ГШО), который горняки используют взамен импортного конвейера Joy. Длина лавы 48-10, где сейчас монтируют «Анжеру», составляет 300 м.

Привод крестовой разгрузки лавного конвейера «Анжера-42», изготовленный для шахты «Усковская», был отмечен Гран-при XXXII международной специализированной выставки «Уголь России и Майнинг – 2024».

Уникальность этого лавного привода в том, что он полностью изготовлен из российских материалов. На последней выставке «Уголь и Майнинг» на конвейер «Анжера-42» обратил внимание врио губернатора Кузбасса Илья Середюк и оценил сотрудничество конструкторов и угольщиков Распадской. Покупать продукцию местных машиностроителей выгодно, ведь использование отечественного сырья и производственная база в Кузбассе существенно уменьшают затраты на логистику.

Илья Середюк, врио губернатора Кемеровской области:

Машиностроители и угольщики Кузбасса запускают уникальный лавный конвейер. Он прошел тестовые испытания, показав, что по своим характеристикам не уступает мировым производителям. Наши машиностроители планируют наладить производство и других видов добычного оборудования под индивидуальный заказ угольщиков.

По программе импортозамещения компания приобрела для шахтеров «Усковской» и новый очистной комбайн от Шанхайского машиностроительного завода (КНР), известный под брендом «Тяньди». Он заменит в лаве американский комбайн Joy. Китаец ни в чем не уступает западным образцам: оснащен двумя режущими двигателями мощностью 650 кВт каждый, производительность – до 2,5 тыс. т горной массы в час. Скорость движения по забою при максимальной нагрузке на исполнительные органы может достигать 12,5 м в минуту.



Правый режущий шнек очистного комбайна, который скоро покажет себя в деле

Алексей Алымов, главный механик Распадской угольной компании:

На рынке сейчас большой выбор китайской техники, но именно очистной комбайн марки MG650 («Тяньди») зарекомендовал себя как один из самых надежных. Отечественные и китайские производители гарантируют оперативную поставку запчастей и надежный сервис, поэтому выбор очевиден.

Лучше экология, лучше условия труда. Как Распадская угольная компания заботится о пылеподавлении



В жаркую и сухую погоду техника, работающая на угольных складах и технологических дорогах, поднимает облака пыли. В Распадской угольной компании с этим справляются с помощью специальных реагентов и современных установок пылеподавления.

Реагент безопасен для людей и природы

Чтобы эффект от полива технологических дорог был более долговременным, на предприятиях компании используют специальный реагент. Экологи Распадской тщательно подбирают поставщиков. Главное условие – безопасность реагента для окружающей среды и для самих людей. Конечно, обязательно учитывается фактор, насколько долго хватает обработки дорожного полотна.

Мария Иванничева, главный специалист по охране окружающей среды разреза «Коксовый»:

Действия реагента в зависимости от интенсивности движения на дорогах хватает до 15 дней. Раствор покрывает дорожное полотно пленкой и не позволяет подниматься пыли в воздух. Это помогает значительно снизить пылеобразование, улучшить качество воздуха и видимость на дорогах.

Опытно-промышленные испытания экологи и угольщики вели на протяжении трех лет. По их результатам в 2024 г. специалисты выбрали реагент кузбасского производства. Этот продукт имеет сертификат соответствия и безопасен для людей и окружающей среды.

Экологи контролируют все параметры его использования, следят за эффектом. Регулярно это делают и на промплощадках разреза «Распадский», шахт «Ерунаковская-VIII», «Усковская» и «Распадская-Коксовая». Кроме производственных участков, угольщики обрабатывают также технологические дороги, расположенные рядом с жилыми поселками. Это позволяет получать двойную пользу: так удобнее

Программы по охране атмосферного воздуха в Распадской угольной компании реализуются в рамках долгосрочной экологической стратегии, рассчитанной до 2030 г. Одной из ее основных задач является снижение на 40% выбросов пыли от хранения и транспортировки угля.

работать водителям на предприятиях, а еще это чистый воздух в окрестных деревнях и дачных поселках.

Полив дорог реагентом проводят только в сухую погоду. Но даже если на следующий день пройдет дождь, он не повлияет на длительность эффекта.

Инвестиции в здоровье

А чтобы снизить пылеобразование на открытых пунктах перегрузки угля, в Распадской угольной компании используют установки пылеподавления. Сегодня на предприятиях применяют 10 таких установок. Установки распыляют мельчайшие частицы воды, создавая при этом естественный туман, который не дает подниматься пыли в воздух. Дальность туманной струи установки – 90 м, площадь охвата – до 15 тыс. м².

Николай Гладких, заместитель начальника автотранспортного хозяйства разреза «Коксовый»:

Мы заботимся о здоровье работников. Принимаем меры, благодаря которым пыли становится меньше. Видимость на дорогах улучшается, что делает производственный процесс более безопасным.

Водяные пушки помогают снижать пылеобразование на 85% и улучшать экологическую обстановку.

Анна Черепанова

<https://raspadsкая.com/ru/>



УВАЖАЕМЫЕ РАБОТНИКИ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ПАРТНЕРЫ, ДРУЗЬЯ! ДОРОГИЕ ВЕТЕРАНЫ ОТРАСЛИ!

От имени коллектива выставочной компании «Кузбасская ярмарка» и себя лично сердечно поздравляю с профессиональным праздником -

ДНЁМ ШАХТЕРА!

Угольная отрасль является одной из важнейших составляющих экономики страны, определяет жизнь многих ее регионов, миллионов людей. С профессией горняков связано немало героических страниц российской истории.

Многие поколения работников угольной промышленности профессионально и четко выполняют свою главную задачу – надежно обеспечивают потребителей качественной продукцией. Профессия шахтера требует максимальной выдержки, ответственности и самоотдачи. Она всегда считалась нелёгкой и достойной настоящих мужчин. Несмотря на трудности, целые династии выбирают шахтёрский труд делом жизни. Отдельные слова признательности ветеранам, которые посвятили свою судьбу любимому делу, заложили основу и традиции угольной промышленности России.

Время ставит перед отраслью серьезные задачи, предстоит продолжить технологическое обновление предприятий, совместно с машиностроителями обеспечить технологический суверенитет, рост производительности труда и многое уже сделано, благодаря приоритетным государственным программам улучшаются условия труда шахтеров, повышается безопасность горных работ, решаются социальные вопросы.

В том числе этому способствует и проводимые нашей компанией Международный горнопромышленный форум и выставка «Уголь России и Майнинг», признанная самой масштабной в России и входящая в число ведущих угольных выставок мира.

От души желаю всем работникам и ветеранам угольной отрасли здоровья, благополучия, новых трудовых достижений во благо России! Мы рады видеть вас в г. Новокузнецке 3-6 июня 2025 г. на XXXIII Международном горнопромышленном форуме «Уголь России и Майнинг»!

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



В. Ф. Харченко,
Директор ООО «ММК-УГОЛЬ»

Уважаемые работники и ветераны угольной промышленности!

Примите сердечные поздравления с профессиональным праздником – Днём шахтера!

Трудно переоценить вклад угольной отрасли в укрепление промышленного потенциала нашей Родины. ООО «ММК-УГОЛЬ» выпускает угольный концентрат, востребованный в металлургии. Продукция нашей компании обладает уникальными качественными характеристиками и соответствует мировым стандартам.

Активы компании – три шахты и обогатительная фабрика – расположены на территориях Беловского городского округа и Ленинск-Кузнецкого муниципального района. «ММК-УГОЛЬ» входит в группу компаний ПАО Магнитогорского металлургического комбината и реализует на кузбасской земле принципы деятельности материнской компании в области инноваций, экологии, безопасности и социальной политики.

Увеличив в прошлом году свои производственные мощности за счет вхождения в состав компании шахты им. С.Д. Тихова, «ММК-УГОЛЬ» продолжает осваивать новые участки. Коллектив ООО «ММК-УГОЛЬ» уверен в будущем,

а компания заботится не только о своих работниках и пенсионерах, но и о территориях, где расположены ее активы, вкладывая в социально значимые объекты и проекты значительные средства.

В ООО «ММК-УГОЛЬ» трудятся порядка 5 тысяч кузбассовцев. На угольных предприятиях компании сформирован высокопрофессиональный коллектив шахтеров с замечательным трудовым наследием, семейными династиями, вырастившими не одно поколение мастеров своего дела.

В этот замечательный день от всей души поздравляю с профессиональным праздником всех горняков! Особые слова благодарности – нашим уважаемым ветеранам, которые долгие годы отдали развитию угольной промышленности Кузбасса.

Желаю всем, кто связал свою судьбу с нелегким шахтерским трудом, крепкого здоровья, удачи, благополучия, успехов и новых трудовых достижений!

НОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ ООО «ММК-УГОЛЬ»

Последние несколько лет на шахтах «Чертинская-Коксовая» и «Костромовская» ведется подготовка к отработке новых участков с ценным коксующимся углем марки «Ж». Это позволит предприятиям стабильно работать несколько десятилетий, будут созданы новые рабочие места.

На шахте «Чертинская-Коксовая», одной старейших шахт города Белова, готовятся к отработке недр участка «Чертинский Глубокий» – строят промышленную площадку со всей необходимой инфраструктурой: вентилятором главного проветривания, блочно-модульной котельной, монорельсовой дорогой, противопожарной насосной станцией, объектами электроснабжения, отстойником ливневых и шахтных вод и другими вспомогательными объектами.

К добыче угля на этом участке горняки приступят в конце 2026 г. Очистные работы будут вестись по технологии безлюдной выемки, т.е. без постоянного присутствия людей в забое. Эта технология будет впервые применена не только в ООО «ММК-УГОЛЬ», но и на шахтах Беловского рудника.

На шахте «Костромовская», расположенной в Ленинск-

Кузнецком районе и отрабатывающей угольные запасы Никитинского месторождения, уже приступили к проходческим работам на новом участке шахтного поля. И хотя свита пластов, расположенных там, отличается меньшей мощностью, большей газообильностью, чем те, что отрабатывались раньше, она имеет хорошую перспективу.

Переход на новые запасы потребовал реконструкции всей шахты. Был построен породный отвал, реконструированы гидротехнические сооружения, ведутся строительные работы по проведению воздухоподающих и вентиляционных скважин.

Начать добычу угля с нового пласта планируется в начале 2027 г., а пока компания приобретает новую технику, увеличивает количество проходческих бригад и параллельно проходческим работам проводит большой объем дегазационных мероприятий. Дегазационные скважины, в том числе и большого диаметра, бурят не только с поверхности, но и из забоев – станками направленного бурения. Длина скважин достигает 400 метров.



ЭТО ИНТЕРЕСНО!

При проведении дегазационных работ компания применяет инновационную технологию плазменно-импульсного воздействия (ПИВ), которая позволяет увеличивать проницаемость угольных пластов на большой площади без нарушения физических свойств и качественных показателей угля, что способствует переводу газа из сорбированного и растворенного состояния в свободное с последующим отбором метана через вертикальные скважины.

Кстати, ученые подсмотрели технологию ПИВ у природы, а точнее, у рака-богомол. Его еще называют креветка-богомол и он имеет самый быстрый и самый сильный удар среди всех животных на планете. От его ударов вскипает вода! Своей плазменной «пушкой» богомол пробирует себе нору в минерализованных остатках кораллов. Шахтеры вместо клешни используют устройство, имеющее источник направленных управляемых широкополосных колебаний и проводник.



пасности из числа руководства и лидеров общественного мнения среди рабочих-бригадиров. Их подготовкой занимался известный бизнес-тренер Иван Маурах. Планируется, что до конца года они обучат около 4500 работников «ММК-УГОЛЬ».

Чтобы труд был безопасным

Обеспечению безопасных условий на каждом рабочем месте в компании уделяют особое внимание. По ее инициативе в Белове и Ленинске-Кузнецком были созданы клубы, объединившие специалистов по охране труда городских и районных предприятий. Первой площадкой для обмена опытом стал организованный «ММК-УГОЛЬ» конкурс «Безопасность и успех-2024», прошедший среди команд беловских и ленинск-кузнецких компаний. На нем были продемонстрированы игропрактики – инновационный метод в обучении персонала.

В компании считают, что выполнение норм безопасности и охраны труда должно быть осознанным у каждого работника. Для этого были обучены тренеры по осознанной безо-

В благодарность за недра – сохранить природу

«ММК-УГОЛЬ» год за годом усиливает меры, направленные на улучшение экологии, вкладывая значительные средства на природоохранные мероприятия.

В прошлом году шахта «Чертинская-Коксовая» и Центральная обогатительная фабрика приняли участие в областной природоохранной акции «Чистая река – чистые берега», которую поддерживает Всероссийский проект по сбережению водных ресурсов «Вода России». Наиболее ярким моментом акции стало зарыбление Оби, проведенное шахтой «Костромовская», когда в июне 2023 г. в реку было выпущено около 27 тысяч мальков.

Среди самых значимых экопроектов прошлого года – реализация второго этапа строительства сооружений стан-



ции доочистки шахтных вод шахты «Костромовская» и строительство модульных очистных сооружений хозяйственных стоков на промплощадке предприятия.

В этом году также воплощается в жизнь немало проектов, направленных на сохранение окружающей среды.

Продолжены мероприятия по защите водных объектов. Компания делает все возможное, чтобы возвращать в реки максимально очищенные шахтные воды. Надо отметить, что порядка 20–30 % от их объема используется на нужды шахт. А на обогатительной фабрике, где работает система оборотного водоснабжения, сброс воды исключен.

Продолжается второй этап строительства сооружений доочистки очистных сооружений шахтных вод на основной промплощадке шахты «Чергинская-Коксовая» (станция обезвоживания). Инвестиции компании составят порядка 150 млн руб.

Проводится реконструкция очистных сооружений шахтных вод на основной промплощадке шахты «Костромовская». Там строят отстойник стоимостью 130 млн руб.

Содержать в чистоте необходимо не только водоемы, но и почвы. Для их сохранения проводятся необходимые исследования, ведется радиологический контроль природных объектов и рекультивация нарушенных земель.

Продолжаем улучшать качество продукции

Качество угольного моноконцентрата марки Ж, выпускаемого ООО «ММК-УГОЛЬ», высоко оценено в металлургической отрасли. Металлургов привлекают его отличные показатели по влажности, зольности, содержанию серы и спекаемости.

Общество не останавливается на достигнутом и постоянно совершенствует производственные процессы. Его успехи не раз были отмечены в конкурсах как областного, так и всероссийского уровня.

В июне этого года компания получила очередное признание – ее углехимическая лаборатория была аккредитована Федеральной службой аккредитации. Теперь в Кузбассе действует 14 аккредитованных лабораторий, в их числе и лаборатория «ММК-УГОЛЬ».

Лабораторная деятельность компании получила наивысшую оценку, она касается уровня оснащения лаборатории оборудованием и квалификации ее сотрудников. Протоколы испытаний, выданные лабораторией «ММК-УГОЛЬ» для произведенной продукции, теперь имеют высокую степень доверия у самого взыскательного потребителя.

Рациональное использование ресурсов, эффективная организация производства, открытость новым технологиям определяют курс развития компании и конкурентоспособность ее продукции. ООО «ММК-УГОЛЬ» в очередной раз подтвердило свое соответствие требованиям и стандартам международного уровня.

Елена Светличная



ООО «ММК-УГОЛЬ»
652607, Кемеровская область,
г. Белово, ул. 1 Телеут, д. 27/2, пом.1
+7 (38452) 2-83-57 e-mail:office@mmk-coal.ru

Дорогие коллеги, партнёры, друзья – уважаемые шахтёры!

Время в очередной раз проверяет нас на стойкость, но наши сила, характер, способности позволят достойно со всем справиться и выйти на новые рубежи. Пусть ваши проекты развиваются, продукция находит потребителей, а снабжение никогда не отстаёт от производства. Главное – это безопасность и умелая кадровая политика, позволяющая сплотить и развивать коллективы.

Удачи и счастья всем шахтерам и их семьям!

С уважением, С.Б. Никишичев
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 800 проектов с 1992 года
- Команда лучших экспертов горной, геологической, перерабатывающей, экономической, и др. областях
- Опыт международной группы

МЫ РАБОТАЕМ, ВЫ РАЗВИВАЕТЕСЬ

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

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

www.imcmontan.ru
consulting@imcgroup.ru

РЕКЛАМА

16+

Спустимся в шахту: откроем главные секреты

Компания «Колмар» входит в пятёрку самых крупных российских производителей коксующегося угля. В Якутии – одно из системообразующих предприятий. Только в прошлом году объем добычи по группе компаний «Колмар» составил 11,5 млн т угля, в планах на текущий год увеличить показатели до 13,5 млн. Как добывают здесь уголь и за счёт чего собираются поставить новые рекорды, читайте в нашем материале.



Что объединяет металлургов и шахтёров

В 2003 г. группа горняков в Нерюнгринском районе начала строительство шахты «Денисовская», и вскоре на-гора отгрузили первую партию угля. Так началась история подземной угледобычи на этой территории. И вот уже больше 20 лет угледобывающая компания «Колмар» даёт хлеб для доменных печей металлургов. Здесь, на территории республики Саха (Якутия), добывают редкие марки коксующихся углей – К (коксовый) и КЖ (коксовый жирный). Они дефицитные потому, что таких месторождений в России мало.

Из угля металлурги делают кокс – главное топливо для производства чугуна. Без него металлургическое производство остановится. Мы проведём небольшую виртуальную экскурсию на наши предприятия и расскажем об основных этапах добычи и переработки полезного ископаемого.

Балансовые запасы компании «Колмар» превышают 1 млрд т.





Как разрабатывают угольные пласты

Подземная добыча – основной способ разработки каменноугольных месторождений «Колмара». У компании три шахты: «Денисовская», «Восточная Денисовская» и «Инаглинская». И всё самое интересное можно увидеть только под землёй. Как разрабатывают угольные пласты – с этого мы и начнём свою экскурсию. В компании применяют два вида разработки:

- **камерно-столбовую.** Он подходит для пологих и наклонных пластов. Выемку проводят в забоях камерного типа. Формируют их с помощью проходческих комбайнов или буровыми машинами. Камеры разделены между собой перегородками (целиками) шириной 15–18 м. От них отходят транспортные и вентиляционные штреки. Уголь после добычи вывозят из камеры самоходными машинами, вагонами или по конвейеру. Такой способ применяют на «Денисовской». Что интересно, делают это на глубине ниже 200 м. В России на такое пока ещё никто больше не решился;

- **«длинными столбами» или «лавой».** Его применяют в шахтах «Инаглинская» и «Восточная Денисовская». В этом случае прокладывают длинные выработки по угольному пласту – конвейерный и вентиляционный штреки на расстоянии около 300 м друг от друга, соединяют их выработкой, в которой монтируют оборудование для добычи угля (очистной комбайн, лавный конвейер, механизированную крепь), которая и называется «лавой». Для разрушения пласта и получения угля используются комбайны непрерыв-

ного действия. Они перемещаются вдоль забоя, режущие инструменты слой за слоем разрушают пласт. Полученный материал отгружается в лавный конвейер. По мере выемки уголя секции передвигаются дальше, а высвободившаяся кровля обрушается в выработанном пространстве.

112,8 млрд руб. составили инвестиции в развитие производства в Якутии в 2018–2023 гг.

Самый главный

Главный в шахте, конечно же, шахтёр. И сегодня это не человек с киркой и лопатой, а высококвалифицированный рабочий, который умеет управляться со сложнейшей техникой и цифровыми технологиями. Пройдёмся вместе с ним на его рабочее место. Скажем сразу, здесь никогда не бывает тихо: шахта – словно огромный муравейник, где постоянно трудятся техника и люди. Бригады работают в четыре смены, каждая из которых длится по шесть часов.

Перед спуском обязательный медосмотр. Пульс, давление, температура, нет ли алкогольного или наркотического опьянения – медики смотрят всё. И если со здоровьем порядок – дают допуск на работу. Теперь нужно переодеться в спецодежду, надеть каску, очки, перчатки, специальную обувь, получить свой номерной светильник, самоспасатель и – самое важное – отметить в системе позиционирования.

7 000 сотрудников трудятся в компании «Колмар».

На виду каждый

Сегодня каждый сотрудник, который трудится в выработках, под контролем горного диспетчера. На мониторе в режиме реального времени видно каждого, поэтому потерять человека невозможно. И в случае экстренной ситуации руководитель может всех оперативно вывести в безопасное место. Всё дело в том, что в каждом светильнике установлен датчик-метка. Перед тем как сесть в «вахтовку» – автомобиль для перевозки вахтовых смен, шахтёр прислоняет свой светильник к считывателю, при этом сигнал от датчика передаётся на сервер, а оттуда информация поступает на компьютер диспетчера. Также данная система сообщает



шахтёрам о том, что нужно срочно связаться с диспетчером. Если лампа проморгала четыре раза, нужно связаться с диспетчером, восемь – произошла внештатная ситуация.

Шахта «Денисовская» заработала в 2009 г. Её производственная мощность – 2 млн т угля в год.

Шахту «Восточную Денисовскую» открыли в 2021 г. Её мощность – 4 млн т угля в год.

Шахта «Инаглинская» стала добывать уголь в 2020 г. Её мощность (1-й очереди) – 6 млн т угля в год.

Добыть – мало, надо – подготовить

Просто добытый уголь металлургам отдавать нельзя – его ещё нужно правильно подготовить – обогатить: отделить от угля ненужные минеральные компоненты и породу. Благодаря этому качество и стоимость топлива кратно увеличиваются. И делают это на обогатительных фабриках. У «Колмара» их три. Они способны переработать 14 млн т угля в год! А с запуском второй очереди «Инаглинской-2» эта цифра увеличится до 20 млн т. Уже завершили основные работы по строительству площадок. На финишной прямой монтаж большей части технологического оборудования, прокладка трубопроводов, электрических сетей и систем управления. Также подходит к концу строительство главного корпуса второй очереди фабрики: монтаж металлоконструкций внутренних помещений, внутренней отделки, инженерных сетей и т. п. Большую часть этих работ планируется закончить до конца 2024 г.

Подготовку начинают с дробления и просеивания угля на грохотах. Здесь очень и очень шумно. Сырьё сортируют по классу крупности: фракция 0,5–2 мм и 2–70 мм и мелкий класс – 0–0,2 мм. В первом случае его обогащают в тяжёлых средах и гидросайзерах, во втором – методом флотации.



Как в стиральной машине

При работе с крупной фракцией используют гидроциклоны. Их принцип работы можно сравнить со стиральной машиной. Расскажем всё понятно и подробно.

Шаг 1. Уголь смешивают с магнетитовой суспензией, раскручивают. Тяжелая фракция (пески) прижимается к внутренней стенке гидроциклона и выгружается через конусную песковую насадку. А уголь, за счёт того что он легче, выносится через сливной верхний патрубок. В итоге получается два продукта: угольный концентрат и микст, который позже – в другом гидроциклоне – делится на промежуточный продукт и отходы.

Шаг 2. Обогащённый уголь отмывают от магнетитовой суспензии на грохотах и отправляют в центрифуги, где происходит обезвоживание.

Шаг 3. Теперь чистый угольный концентрат транспортируют на склад готовой продукции, где он и дожидается отправки к покупателям.

В это же время более мелкие частицы угля размером от 0,2 до 0,5 мм – перерабатывают в специальных установках: гидросайзерах. Концентрат проходит процесс обезвоживания на дуговых ситах и в центрифугах и также отправляется на склад готовой продукции.

Всё в дело

На обогатительных фабриках всё идёт в дело. Третий, самый мелкий класс крупности – менее 0,2 мм – отправляют на обогащение методом флотации. Это процесс отделения самых мелких частиц угля от примесей в водной среде, но уже при помощи реагентов. А происходит всё вот так. Смесь угля и воды вспенивают. В итоге нужные крупности угля благодаря пузырькам поднимаются на поверхность. Пену снимают специальными устройствами – «пеногонами». Затем флотоконцентрат обезвоживают на камерных пресс-фильтрах и отправляют на склад готовой продукции. А «флотохвосты», ненужная порода, проходит процесс сгущения, затем её обезвоживают и вывозят в отвал. Исползованную воду фильтруют и возвращают в производство. Напомним, что все обогатительные фабрики «Колмара» соответствуют мировым экологическим стандартам и имеют замкнутую водно-шламовую систему.

Качество – под контроль!

Качество конечной продукции проверяет собственная углехимическая лаборатория «Колмара». Служба по контролю качества продукции проводит более 20 000 исследований в месяц. По их результатам специалисты подбирают плотность магнетитовой суспензии, расход реагентов, формируют водно-шламовую цепочку, настраивают и регулируют оборудование. А на финальном этапе анализ подтверждает заявленное качество, и специалисты выдают на готовый продукт сертификат соответствия.

Мы побывали с виртуальной экскурсией на самых важных этапах производства и «увидели», как шахтёры добывают, а обогатители производят высококачественное угольное топливо, которое ценят металлурги по всему миру. Впереди у компании много планов по внедрению нового оборудования и современных технологий. Это значит, что новые рекорды не за горами.



Уважаемые работники предприятий горнодобывающей отрасли!

С Днём Шахтера!

Сегодняшний праздник – радость трудовых успехов, гимн благородной мужской дружбе и ежедневному подвигу. Ваш труд очень нужен всем, чтобы в домах было тепло, чтобы двигался прогресс, развивалась техника. Мы никогда не перестанем восхищаться вашей отвагой. Желаем вам удачных смен, крепкого здоровья, усердно и славно работать, быть гордостью в сердцах дорогих людей, примером мужества и оптимизма в глазах окружающих. Пусть счастье и добро всегда сопровождают вас!

Коллектив новосибирского механического завода «Искра»



Лицензия № РВ-00-008712 от 15.05.2008г.

Уважаемые коллеги, представители горнодобывающей отрасли,
Примите самые теплые поздравления с главным Кузбасским торжеством,
особым праздником – Днём Шахтера!



Уже более 70 лет шахтеры всей страны ежегодно отмечают свой профессиональный праздник. Результаты вашего труда во многом определяют состояние энергетического и промышленного потенциала страны. Развитие угольной отрасли неразрывно связано с техническим прогрессом в части автоматизации и безопасности труда. Гордимся своей сопричастностью и возможностью сделать ваш нелегкий труд более эффективным и максимально безопасным.

16+ РЕКЛАМА

WWW.DAVISDERBY.RU

От имени коллектива ООО «Девис Дерби Сибирь»
Генеральный директор Руднев П.В.

DD ДЕВИС ДЕРБИ
СИБИРЬ

ТРИ ЮБИЛЕЯ

В 2024 г. в Новой Горной Управляющей Компании сразу три предприятия отмечают юбилейные даты.

Новая Горная Управляющая Компания – это большая, сплоченная и целеустремленная команда. Компания объединяет 7 предприятий в Новокузнецке и Междуреченске: разрезы АО «Междуречье», УК «Южная», обогатительные фабрики «Междуреченская» и «Антоновская», шахты «Антоновская» и «Большевик», АО «ПВВ». Здесь трудятся более 5,5 тыс. человек.

На предприятиях компании активно проходит модернизация. Обновляют оборудование и технику и инвестируют в расширение производства.

В этом году три предприятия компании отмечают юбилей. Разрезу «Междуречье» исполнилось 60 лет, угольной компании «Южная» – 20 лет и 70 лет исполнилось одной из старейших шахт в Кузбассе – шахте «Большевик». Юбилеям мы сегодня и посвящаем эти статьи.

За спиной десятилетия опыта, а они все так же молоды и амбициозны. Шагают в ногу со временем, развивая цифровизацию, и ежедневно трудятся, строя планы на будущее.

Становление и успехи «Междуречья»

31 декабря 1964 г. – точка отсчёта в истории «Междуречья». Свой первый уголь разрез добыл в начале января 1965 г. От начала проектирования до запуска в работу предприятия ушло 10 лет, не считая геологическую разведку, которую в тех местах активно вели с начала XX века.

После ввода разреза в эксплуатацию для коллектива главной задачей было освоение проектной мощности. Чтобы достигать поставленных целей, предприятие росло – становился больше коллектив, увеличивались парк техники, количество цехов и участков. За первый год работы горняки добыли 625 тыс. т угля, на 100 тыс. больше запланированного.

Предприятие стало своеобразной технической лабораторией по внедрению технологических новшеств. Например, здесь впервые в СССР железнодорожный транспорт должен был работать на переменном токе. Сразу после открытия на уголь-

ный карьер для промышленных испытаний прибыл отечественный тепловоз Д-94, затем импортные дизель-электровозы EL-10. Хорошо показали себя отечественные машины ОПЭ-1, которые появились позже. Один из первых в Кузбассе шагающих экскаваторов ЭШ-10/60 тоже был смонтирован и испытан на «Междуречье». Также здесь работали экскаваторы ЭВГ-6, ЭКГ-4,6,8, бульдозеры, буровые станки, самосвалы МАЗ-525, БелАЗ-540.

В 70-е годы прошлого века на «Междуречье» готовили своих кандидатов технических наук. Так на разрезе решили вопрос с квалифицированными кадрами. Технологии открытой добычи угля в стране ещё только создавались. Подходящих специалистов для работы в сложных горно-геологических условиях разреза не было. С 1973 по 1975 год звание кандидатов техни-



Электрический экскаватор ЭКГ-20 предназначен для вскрышных работ



Бригаду нового ЭКГ-20 возглавляет опытный машинист Николай Кобзарь

ческих наук получили пять специалистов. Их диссертации были на различные производственные темы.

В 1985 г. разрез вошёл в ряд крупнейших угледобывающих предприятий Кузбасса, обеспечив девятую часть всей добычи – 5 млн 107 тыс. т. За 20 лет, с 1965 г., объём добычи на предприятии увеличился более чем в 10 раз.

В 2002 г. коллективу «Междуречья» было предоставлено почетное право добыть двухмиллиардную тонну угля в Кузбассе с начала отработки месторождений открытым способом. По итогам работы этого года разрез стал лидером в рейтинге предприятий угольной отрасли России.

Есть куда расти

Вместе с АО «Междуречье» празднует юбилей и УК «Южная». Несмотря на свой более юный возраст – 20 лет – угольная компания уверенно смотрит в будущее. «Рука об руку» два предприятия достигают поставленных целей и вместе рисуют новые горизонты развития.

Сегодня предприятия держат курс на ввод в эксплуатацию нового участка, активное внедрение цифровых технологий, эффективное производство с высокими стандартами охраны труда и промбезопасности, заботу и поддержку работников и их семей.

Разрезы АО «Междуречье» и УК «Южная» добывают уголь коксующихся марок, особенно востребованных в металлургии – КС, ОС, а также антрацит и уголь марки Т. Готовится к вводу в эксплуатацию участок «Мрасский» с запасами около 200 млн т угля. В настоящий момент ведутся подготовительные работы. Первые тонны планируется добыть во втором квартале 2025 г. Для этого предприятия усиливают мощности. За последние три года приобретено 55 большегрузных самосвалов и 9 экскаваторов с вместимостью ковша от 16 до 25 м³, а также бурстанки и вспомогательная техника.

Цифра в помощь

С 2022 г. в Новой Горной Управляющей Компании реализуется проект по автоматизации управления производством.

Евгений Лямкин, заместитель главного инженера:

Мы ставим перед собой задачу организации сквозной цифровизации, объединения всех данных в единую систему: начиная от геологии, заканчивая концентратом на обогатительных фабриках и его логистикой. Этот проект мы планомерно реализуем, уже перевели в цифру бухгалтерскую отчетность, а также внедряли систему позиционирования буровых станков и паспорта бурения.

Параллельно с этим в компании используется множество цифровых инструментов, которые помогают выстроить оперативное планирование и контроль выполнения задач, а также внедряются новые платформы и системы.

Например, в начале 2024 г. на всех предприятиях Новой Горной запустили в работу цифровой инструмент «Доска решения проблем 2.0». Наведя смартфон на QR-код, каждый работник может подать заявку о проблеме. Она фиксируется в системе. Руководитель предприятия определяет ответственных по решению проблемы, а данные о стадиях решения отображаются на специальном мониторе в комбинате и доступны всем работникам.

Спустя несколько месяцев функционал «ДРП 2.0» расширили, добавив цифровой помощник по охране труда и промышленной безопасности. С его помощью сотрудники теперь подают заявки о несоответствиях на производстве и могут оформить отказ от небезопасной работы.

Под контролем

Разрезы УК «Южная» и «Междуречье» в числе первых предприятий открытой добычи в России выполнили требования федеральных норм и правил в области промышленной безопасности, установив сеть сейсмостанций.

Евгений Лямкин, заместитель главного инженера:

Передача информации осуществляется благодаря развёрнутой в прошлом году технологической LTE-сети. Сами станции автономные, работают от солнечных батарей. И, кстати, они российского производства. Это помогает обеспечивать непрерывный контроль напряженного состояния массива и предотвращать опасные деформации бортов и отвалов, а также мониторить влияние сейсмических воздействий от проведения массовых взрывов.

Для работников – лучшие условия

На предприятиях Новой Горной УК реализуется также расширенная социальная программа. Каждый работник может возместить стоимость проезда к месту отдыха для всей семьи раз в три года, приобрести путевку в санаторий, большую часть стоимости которой берет на себя предприятие, а дети сотрудников ежегодно отдыхают в детских лагерях и санаториях.

Два раза в год коллективы собираются на зимнюю и летнюю спартакиады, чтобы выявить сильнейших спортсменов, пообщаться и отдохнуть. Культурный отдых также востребован работниками. Они с удовольствием посещают спектакли МХАТ им. Горького, гастроли труппы организует компания. Для детей проводятся утренники, конкурсы и выезды в цирк.

Шахта «Большевик».

Легенда кузбасской угледобычи

«Большевик» – одна из старейших шахт Кузбасса. Предприятие создали в 1954 г. В его истории немало рекордов и производственных достижений. Сейчас «Большевик» – это современное угледобывающее предприятие.

От маленькой артели – к передовой шахте

История «Большевика» началась с горного отвода «Филинов мус», который располагался на месте будущей шахты. Первый уголь здесь начали добывать еще в 1932 г. небольшой артелью. Больше 20 лет горняки работали вручную, поднимая на-гора около 35 тыс. т в год. Серьезные изменения произошли в начале 1950-х, когда в горные выработки провели электричество и начали добычу угля буровзрывным способом. А в 1954 г.



Машинист электровоза Г.И. Трашков. Архивное фото 1955 г.

артель переименовали в шахту «Большевик». Уже в следующем году вместо лошадиной силы уголь стали транспортировать электровозами, позже появились погрузочные машины и необходимая инфраструктура.

Следующий большой скачок в развитии произошел почти два десятилетия спустя. В 1973 г. директором шахты назначили Владимира Трофимовича Кондратова. При нем были построены новый АБК, мастерские, гараж, погрузочный комплекс. А горняки освоили первый механизированный комплекс и современные комбайны. «Большевик» стал одним из передовых предприятий. Шахтеры пять раз становились обладателями переходящего Красного знамени, а добыча угля выросла с 275 тыс. т в год до почти полутора миллионов. Дальше наступили перестройка, распад Советского Союза и новые времена.

Самая крутая лава

Справился «Большевик» и с новыми реалиями, сохранив дружный и профессиональный коллектив. В 1990-е годы шахта продолжала стабильно работать, а в 1999 г. получила от губернатора Кузбасса Почетную грамоту за высокий вклад в добычу 100-миллионной тонны угля.

В августе 2005 г. на предприятии ввели в работу новый гео-



Сейчас проходческие бригады «Большевика» готовят к отработке сразу два будущих выемочных участка. На фото проходчик Кирилл Харзеев и заместитель начальника участка Сергей Данилов, участок №2 по проведению горных выработок шахты «Большевик»



В действующей лаве очистной участок работает на глубине 340 м. На фото Иван Моисеев, машинист горных выемочных машин шахты «Большевик»

логический участок – восточный блок участка «Есаульский 3-4», расположенный в пяти километрах от старого шахтного поля. Сейчас шахтеры продолжают его отработку. В прошлом году по инвестпрограмме приобрели новый очистной механизированный комплекс, который помогает горнякам работать эффективно и безопасно в сложных горно-геологических условиях. Добычу ведут в лаве с запасами 650 тыс. т угля марки ГЖ. Параллельно проходчики готовят новые выемочные участки. По углу падения добычной забой в шахте считается самым крутым в Кузбассе.

Сергей Мингалев, директор шахты «Большевик» Новой Горной Управляющей Компании:

На самом деле наша лава самая крутая не только в области. Я думаю, и в России. На сегодня шахта «Большевик» отрабатывает пласт 29 А, добычные работы ведутся на выемочном участке лавы 29–61 БИС. Чем эта лава отличается от предыдущих? Ее угол падения составляет до 43 градусов. Горняки понимают, это очень сложно.

Здесь можно остаться в истории

При этом такие сложности не пугают шахтеров. Наоборот – даже привлекают. Главный специалист по горным работам шахты «Большевик» Вадим Басов стал одним из лучших молодых инженеров России по итогам 2023 г. Его исследования направлены на повышение уровня безопасности труда в шахтах. Вадим изучает горное давление на сопряжениях выработок с очистным забоем.

Вадим Басов, главный специалист по горным работам шахты «Большевик»:

Байдаевское месторождение считается одним из самых сложных, со множеством геологических нарушений, проблемных зон и участков, которые интересно исследовать. И для меня это один из поводов, почему именно шахта «Большевик». Я проходил здесь практику и мне понравилось это предприятие своим порядком, людьми, которые здесь работают. И сама шахта одна из таких, где можно действительно остаться в истории.

Современный «Большевик» сохраняет передовые взгляды на производство. В Новой Горной УК это предприятие – пилотная площадка для внедрения новых технологий и цифровых проектов. За последний год шахтеры первыми опробовали на себе цифровую доску решения проблем и систему учета простоев для проходческих участков.

Шахта «Большевик» вдохновляет не только горняков, но и новокузнецких художников. В этом году к Дню шахтера здесь провели индустриальный пленэр. Это один из этапов совместного проекта Новой Горной УК и Новокузнецкого художественного музея. Его участниками стали восемь художников, которые побывали на промышленных площадках шахты. Они создадут серию графических и живописных работ. В начале августа картины украсят окна музея. Выставка станет отличным подарком к 70-летию юбилею предприятия.

С ДНЕМ ШАХТЕРА!

Дорогие коллеги!
С профессиональным
праздником!

ГРАНЧ

Позиционирование персонала;
подземная навигация; поиск
людей, застигнутых аварией



Позиционирование и сбор
информации о состоянии
подвижного ГШО



Сканирующий
(динамический)
газовый анализ



Голосовая мобильная
связь



Контроль за физическим
состоянием горнорабочих



в движении/
без движения

HELP
«Тревожная кнопка»

Стационарное
видеонаблюдение



Отправка команд и
голосовых сообщений
на головной светильник



Мобильная фото/видео
фиксация в шахте
с применением головных
светильников и смартфонов



Автоматизированные системы
управления технологическими
процессами (АСУТП)



Система дистанционного
контроля промышленной
безопасности



Предотвращение столкновений



ALARM

Комплекс «УМНАЯ ШАХТА»[®]

РЕКЛАМА

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!



ГРАНЧ

+7 (383) 233-35-12

info@granch.ru

www.granch.ru





Б.В. Колосов,
Генеральный директор
ООО «Сибэлектро»

*Уважаемые горняки,
от всей души поздравляем Вас
с вашим профессиональным
праздником – с Днем шахтёра!*

Труд горняка – не каждому по плечу. Он требует силы духа и твердости характера, высокого профессионализма и преданности делу. Желаем вам динамического развития, внедрения передовых технологий, крепкого здоровья, счастья и благополучия!



СИБЭЛЕКТРО



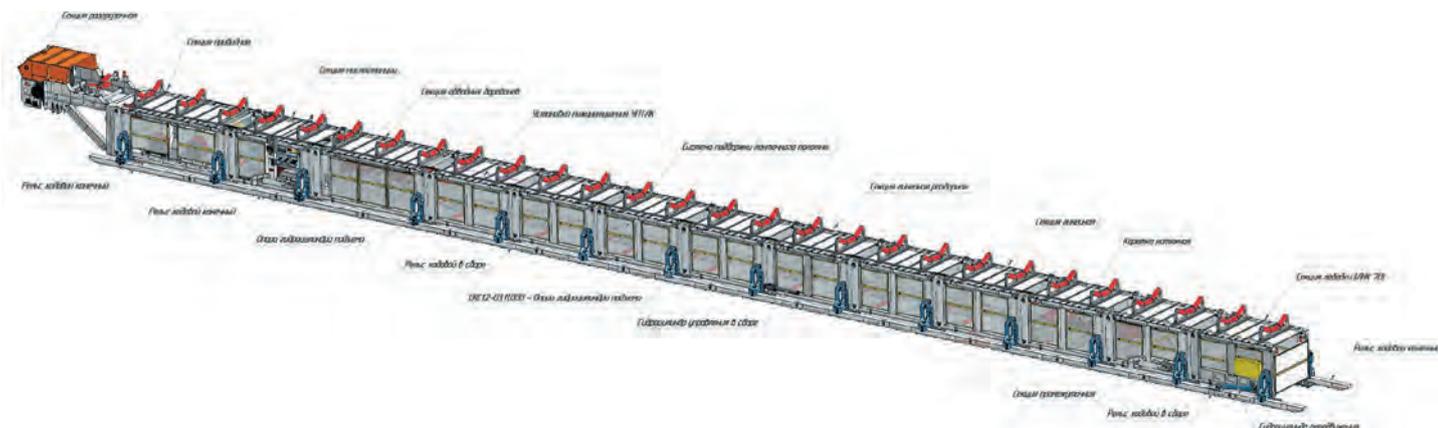
Результат проведения промышленных испытаний самопередвижной приводной накопительной системы СПНС производства ООО «Сибэлектро»

Более 10 лет Сибэлектро, основываясь на требованиях, опыте работ и потребности горняков в новой инновационной технике, разрабатывает и совместно с горными предприятиями успешно внедряет оборудование в существующие технологические схемы и производственные процессы.

Решения Сибэлектро доказали не только право на существование в горнодобывающей отрасли, но стали флагманом горного машиностроения, обеспечивающим поддержание

существующих мощностей предприятий и обеспечивающих их динамичное развитие. Единая, эффективная команда профессионалов позволяет решать самые смелые задачи, а накопившиеся за годы работы опыт и умения помогают противостоять жесткой конкуренции и реалиям современности. Как следствие – усовершенствование серийной продукции и расширение ее спектра. Зарекомендовали себя конвейеры шахтные ленточные КЛ-КШТ, системы стационарного обезвоживания ССО, самопередвижные концевые

Состав СПНСЗ



Параметры самопередвижной приводной накопительной системы СПНС	Значение
Ширина ленточного полотна, мм	800 / 1000 / 1200
Шаг перемещения, мм	1000
Усилие перемещения, кН	500
Мощность эл/двигателя маслостанции, кВт	37 / 37 / 55
Подача рабочей жидкости, л/мин	134 / 134 / 182
Рабочее давление гидросистемы, МПа	16
Мощность приводной секции, кВт	320 / 320 / 630
Телескопичность ленточного полотна, м	до 200
Ход натяжной каретки, м	20

Результат проведения промышленных испытаний самопередвижной приводной накопительной системы СПНС в составе ленточного конвейера 2ЛЛТ800-КШТ-2-01.000	Показатели
Длина конвейера на момент перемонтажа, м	700
Расстояние перемещения оборудования СПНС на новый участок работы, м	480
Время перемещения оборудования СПНС на новый участок работы без разбора, ч	18
Средняя скорость перемещения с учетом дополнительных операций (корректировка от боков выработки, переставление осей в транспортное положение, прохождение двух зон нарушений (мульдовая часть)), м/ч	26
Время на перемонтаж конвейера с момента остановки до момента запуска на новом участке работы с учетом работ по подготовке пересыпа на перегружатель, сут	Менее трех

системы СКС, перегружатели ленточные ПЛХ, станции гидравлические шахтовые СГШ и лебедки натяжные конвейерные ЛНК. В последнее время к серийному выпуску прибавилась самопередвижная приводная накопительная система СПНС.

Система СПНС обеспечивает привод и разгрузку конвейера, а также накопление ленточного полотна. При этом СПНС позволяет выполнить перемонтаж разгрузочной и телескопической частей ленточного конвейера без разбора и демонтажа.

Конструктивной особенностью СПНС является оснащение элементами гидравлического хода, позволяющими в автономном режиме перемещаться в прямолинейной выработке в новое место установки без предварительного демонтажа, адаптируясь к перепадам и неровностям почвы горной выработки.

Опытно-экспериментальным путем установлен эффект от применения систем СКС и СПНС в составе ленточного конвейера. Их применение позволило сократить время на перемонтаж конвейера по горной выработке с двух недель до трех суток, уменьшить объем технологических сбоев и снизить трудоемкость выполнения демонтажных работ.

Инженерный потенциал Сибэлектро готов к любым вызовам, тем более к тем, что позволят облегчить труд шахтеров, снизить трудоемкость, повысить безопасность ведения горных работ и улучшить экономическую эффективность предприятия.



654015, Кемеровская область – Кузбасс,
 г. Новокузнецк, ул. Малоэтажная д. 8
 Приемная: (3843) 58-31-10
 Отдел сбыта: (3843) 58-38-10,
 8-905-914-10-30
reception@sibelectro.com
www.sibelectro.com



СтройИмпортТехника – официальный дистрибьютор ведущих китайских производителей

Компания «СтройИмпортТехника» является эксклюзивным дистрибьютором спецтехники от китайских производителей в России – компании «Shantui Construction Machinery Co., Ltd.» и компании Shacman (Shaanxi Heavy Duty Automobile Co.), а также официальный дилер ShaanxiTonly Heavy Industries Co., Ltd., Weichai Holding Group Company Limited, Jiangsu Goodeng Heavy Machinery Technology Co. Ltd.

«СтройИмпортТехника» насчитывает 92 собственных филиала по всей России и обеспечивает обслуживание техники, эксплуатационный сервис и ремонт, регулярную поставку запчастей и расходных материалов.

Основное направление деятельности компании – продажа горной и дорожно-строительной спецтехники. Подробнее о производителях, с которыми работает «СтройИмпортТехника»:

Shandong Shantui Constuction Machinery

Shantui – один из ведущих китайских производителей землеройной техники в Китае, крупнейшая торговая марка, производящая и реализующая бульдозеры, экскаваторы, фронтальные погрузчики и другую спецтехнику.

В настоящий момент производит всю линейку спецтехники: от фронтальных погрузчиков и экскаваторов до автогрейдеров, дорожных катков, цементовозов, вилочных погрузчиков и т.д. Компания ведет продажи своей продукции более чем в 130 странах мира.

Популярность бренда в РФ обусловлена высокой производительностью при низкой стоимости владения.

«СтройИмпортТехника» является многолетним лидером российского рынка среди поставленных и введенных в эксплуатацию бульдозеров (более 1000 ед. техники ежегодно).

В модельном ряду техники Shantui представлен широкий ассортимент бульдозеров с эксплуатационной массой от 9 до 106 т.

Бульдозеры серии DH46, SD60, SD90 используются в горнодобывающей промышленности:

– Бульдозер SD90-C5 комплектуется современным мощным дизельным двигателем Cummins 708 кВт (962 л.с., Tier 3), усиленным скальным полусферическим отвалом 28 м³ или усиленным сферическим 34 м³.

– Бульдозер SD60-C5 комплектуется современным двигателем Cummins 450 кВт (612 л.с., Tier 3), усиленным скальным полусферическим отвалом 18,9 м³ или усиленным сферическим отвалом 23 м³.

– Бульдозер DH46-C3RS с гидростатической трансмиссией комплектуется ДВС Cummins 390 кВт (530 л.с., Tier 3), усиленным скальным полусферическим отвалом 13,7 м³ или сферическим угольным 17 м³.

Все модели поставляются в комплектации Arctic, адаптированной под суровые условия российского климата. Также система К-образного типа обеспечивает высокую проходимость, высокий показатель сцепления с грунтом, тяговое усилие, снижает вибрацию бульдозера.

Бульдозер комплектуется гусеницами из высоколегированной стали с жидкой смазкой (SALT) с системой PPRи увеличенной полкой башмака и высотой грунтозацепа для тяжелых условий эксплуатации в карьерах.

Кабина оператора с внешним каркасом системы безопасности ROPS/FOPS имеет большую площадь остекления, широкий угол обзора.

Модульная конструкция бульдозера, автоматическая система смазки основных узлов рабочего оборудования, гусеничной(ая) тележки(а), балансирной(ая) балки(а), удобное расположение и замена расходных комплектующих (фильтров), система диагностики – позволяют достичь лёгкости технического обслуживания и проводить ежедневное обслуживание бульдозера.





Среди строительной техники модели экскаваторов Shantui в России появились сравнительно недавно, но уже завоевали популярность на рынке РФ.

Экскаваторы имеют широкую номенклатуру: от мини – массой 1,6 т, до макси – массой 150 т. Машины этого бренда стали популярны на крупных карьерах, где необходима интенсивная работа, связанная с перемещением или добычей рудных и нерудных материалов.

Экскаватор SE980LCW пользуется большим спросом на рынке РФ.

Он оснащен надежным двигателем WEICHAИ 6M33 объемом 19,6 л. Моторы работают в паре с высокопроизводительными гидравлическими насосами производства Linde модели HPR300D.

Объем ковша у данной модели составляет 5,6 м³.

Комфортабельная кабина отвечает стандартам ROPS и FOPS, с системой климат контроля и магнитолой MP3, отвечает современным эргономическим требованиям.

В качестве органов управления предлагаются гидравлические джойстики. В сочетании с низким уровнем шума 60-72dB все вышеперечисленное способствует высокой работоспособности в течение всего рабочего дня.

Применение такой техники позволяет достигать высокой добавочной стоимости работ благодаря производительности, надежности, низкой стоимости производственных затрат.



Jiangsu Goodeng Heavy Machinery Technology Co. Ltd.

Компания Jiangsu Goodeng Heavy Machinery Technology была основана в 2002 г., текущая производственная мощность заводов (два в Китае, один в Тайланде) составляет около трёх тысяч единиц оборудования различного назначения. Поставки осуществляются более чем в 30 стран Азии, Европы, Австралии, Южной Америки и Африки. Производитель оборудования при разработке модельного ряда использует как достижения ведущих производителей бурового оборудования, так и собственный потенциал: более 28% персонала имеют высшее образование, общее число патентов превышает 130 шт.

«СтройИмпортТехника» предлагает следующую продуктовую линейку самоходных буровых установок на гусеничном шасси с погружным пневмоударником:

– **GMD40:** диаметр бурения 90–130 мм, двигатель YuchaiYCA07P240, 176 кВт, компрессор 18 бар, 15 м³/мин, глубина бурения до 24 м, масса 12 т, транспортные размеры 8,9 x 2,3 x 3,0 м.

– **GMD45:** диаметр бурения 90–138 мм, двигатель Cummins QSB6.7-C260, 194 кВт, компрессор 20 бар, 18 м³/мин, глубина бурения до 28 м, масса 13 т, транспортные размеры 9,2 x 2,3 x 3,2 м.

– **GMD60:** диаметр бурения 127–165 мм, двигатель Cummins QSL8.9-C360, 264 кВт, компрессор 22 бар, 22 м³/мин, глубина бурения до 35 м, масса 20 т, транспортные размеры 11,5 x 2,5 x 3,56 м.

– **GMD70:** диаметр бурения 152–203 мм, двигатель Cummins QSZ13-C475, 354 кВт, компрессор 25 бар, 26 м³/мин, глубина бурения до 36 м, масса 22 т, транспортные размеры 12,7 x 2,5 x 3,6 м.

– **GMD80:** диаметр бурения 165–230 мм, двигатель Cummins QSZ13-C550, 412 кВт, компрессор 26 бар, 33 м³/мин, глубина бурения до 36 м, масса 24 т, транспортные размеры 12,8 x 2,5 x 3,6 м.

Буровые станки комплектуются широким функционалом: системой дистанционного управления, системой продувки воздушным туманом, централизованной системой смазки, системой пожаротушения, кондиционером, камерой заднего вида и т.д. Оборудование может быть укомплектовано северным пакетом: дополнительным отопителем и





утеплением кабины, двойным остеклением, предпусковым подогревателем двигателя, подогреваемым топливным фильтром, подогревом топливного бака и бака гидравлики, утеплением машинного отделения, аккумуляторными батареями повышенной ёмкости.

Техническая поддержка осуществляется силами «СтройИмпортТехника» с сопровождением завода-изготовителя, широкая сеть филиалов в РФ, отработанная логистика – всё это обеспечивает надёжность работы оборудования.

ShaanxiTonly Heavy Industries Co., Ltd.

Предприятие занимает ведущие позиции в производстве карьерных самосвалов, удерживая долю рынка в Китае более 30%. Tonly хорошо зарекомендовали себя во многих странах мира, в том числе в России, Монголии, Казахстане, Кыргызстане, Вьетнаме, Малайзии, Индонезии и других странах.



Транспортные средства Tonly адаптированы специально для тяжелых условий эксплуатации. Они широко применяются в различных отраслях, таких как: добыча полезных ископаемых, энергетика, строительство.

Завод предлагает широкий спектр внедорожных и карьерных самосвалов грузоподъемностью от 30 до 90 т. Самосвалы оснащены двигателями компании Weichai, Yuchai, механическими или автоматическими коробками передач, а также широким спектром кузовов для перевозки различных горных пород.

На территории России «СтройИмпортТехника» работает с Tonly уже 5 лет, поставив более 300 самосвалов, которые эксплуатируются в суровых условиях Сибири и Дальнего Востока.

«СтройИмпортТехника» – дистрибьютор дизельных генераторов.

Генераторы Weichai в карьерах используются для запитки бытовок, инструментов с постоянным и резервным использованием:

- WPG550L8 (400 кВт)
- WPG440L (320 кВт)
- WPG88L1 (64 кВт)
- WPG55L1 (40 кВт)

Компрессоры Airman в карьерах используют при работе пневмоинструмента, бурения, продувки:

- PDSG520S (14 м³, 14 бар)
- PDSH630S (17 м³, 17 бар)
- PDSJ680S (20 м³, 20 бар)

«СтройИмпортТехника» имеет в наличии всю заявленную технику и может осуществлять поставку в любую точку России благодаря имеющимся представительствам во всех регионах России. Специалисты компании проведут полный цикл обслуживания в гарантийный и постгарантийный периоды, эксплуатационный сервис и ремонт и в кратчайшие сроки поставят все необходимые запчасти.

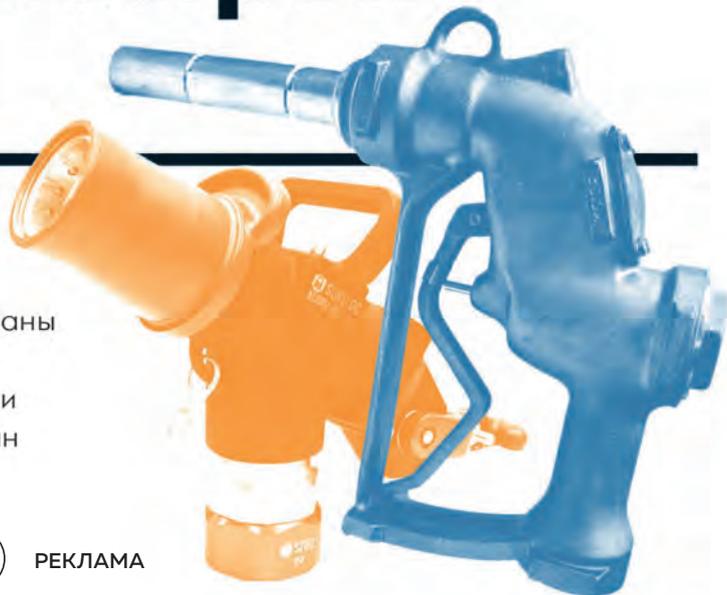
125315, г. Москва, 2-й Амбулаторный проезд, 10
Тел.: 8-800-700-33-86
www.shantui-sit.ru

СИТ
СТРОЙИМПОРТТЕХНИКА

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

ЕРТ-ГРУПП поздравляет с Днём Шахтёра!



Уважаемые коллеги, дорогие друзья!

От коллектива ООО «ЕРТ-ГРУПП» примите наши поздравления с Днём шахтёра!

Работать в горнодобывающей промышленности – это значит сочетать в себе недюжинную физическую силу, смелость, стойкость и высокую квалификацию. Вы ежедневно спускаетесь под землю, противостоя сложным условиям труда, чтобы обеспечивать экономику страны столь необходимыми ресурсами.

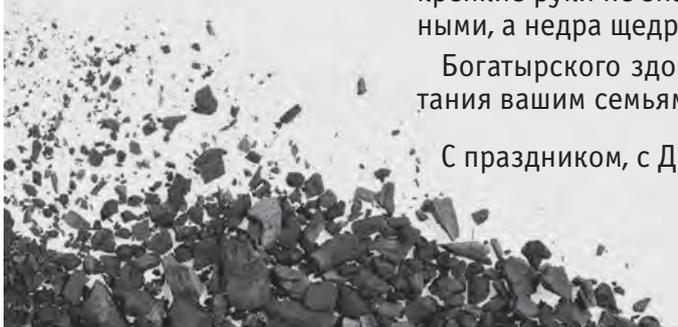
Искренняя признательность за ваш самоотверженный труд, надёжность и ответственность.

Желаем, чтобы стойкость и сила никогда вас не покидали, чтобы крепкие руки не знали усталости, смены были безопасными и спокойными, а недра щедро делились с вами своими богатствами!

Богатырского здоровья, шахтёрской удачи, благополучия и процветания вашим семьям.

С праздником, с Днём шахтёра!

*С уважением, В.А. Ракитин
и коллектив ООО «ЕРТ-ГРУПП»*



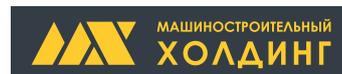
АО «Машиностроительный холдинг» запускает в производство линейку подземных буровых самоходных установок для обеспечения полного цикла буровых работ



В.С. Солдатов,
коммерческий директор
АО «Машиностроительный холдинг»

АО «Машиностроительный холдинг» с 2019 г. производит буровые самоходные проходческие установки DF-B1 для проходки средних сечений горных выработок и уже выпущено более 45 буровых установок, которые успешно работают в рудниках крупнейших горнодобывающих предприятий России, таких как ОАО «УГМК», ПАО «Норильский никель», ПАО «Северсталь», ООО «ЕВРАЗ», АК «Алроса» и др. Установки показывают КТГ (коэффициент технической готовности) на уровне западных аналогов и не уступают в производительности, это подтверждается статистикой наработок и простоев машин, собираемой нашей развитой сервисной службой непосредственно у наших потребителей. В обязательном порядке собранная статистика утверждается ответственными службами горнодобывающих предприятий. Средний КТГ наших установок в первый год работы более 90%!

В 2024 г. перед промышленностью России как никогда стоит задача в обеспечении горнодобывающих предприятий собственными подземными буровыми самоходными установками. В сложившейся геополитической обстановке западные производители покинули рынок Российской Федерации, тем самым создав достаточно сложные условия для нашей горнодобывающей отрасли, но в то же время открылось окно возможностей для отечественных производителей подобного оборудования.



Перед АО «МХ» стояла амбициозная и сложная задача по расширению линейки буровых самоходных установок, удовлетворяющих запросам горнодобывающих предприятий.

АО «МХ» приняло вызов во всеоружии и устремилось к покорению доселе не достигнутых высот в данной области отечественного машиностроения.

Для повышения производительности буровой установки DF-B1 в 2020 г. АО «Машиностроительный холдинг» приняло решение разработать увеличенное шасси, которое предусматривало установку дизельного двигателя мощностью 120 кВт, что практически в два раза превышает мощность ДВС установки DF-B1. Были вновь разработаны все рамные конструкции, переработана компоновка задней части машины, тем самым увеличены общие габариты машины для возможности установки более мощного двигателя и более производительного оборудования, требуемого для выполнения буровых работ. На базе этого шасси были запланированы разработка и выпуск



Детализированная 3D-модель подземной гидроперфораторной буровой проходческой установки с двумя стрелами DF-C2



Буровая проходческая установка DF-C2

буровой проходческой установки DF-C2 с двумя стрелами в 2022 г. Установка DF-C2 позволяет выполнять проходку в выработках сечением до 49 м² с производительностью, до двух раз превышающей производительность установки DF-B1 с одной стрелой. Комплект опытной конструкторской документации был полностью выдан в начале 2022 г. и включал в себя детально проработанную до последнего болта 3D-модель.

После этого начался процесс закупа комплектующих, а также сборки опытного образца «фото полуфабрикатов, рам и т.д.».

В связи со сложившейся геополитической обстановкой нашим конструкторским отделом планируется огромная работа по исключению европейских комплектующих из состава установки DF-C2 и их замене на комплектующие, произведенные в РФ и дружественных странах. Эти изменения позволят бесперебойно и оперативно поставлять запасные части нашим потребителям, а АО «МХ» выйти на серийное производство.

Буровая установка DF-C2 оснащена двумя высокопроизводительными и надежными перфораторами HLX5-MX мощностью 20 кВт нашего собственного производства. Перфоратор HLX5-MX является полным аналогом импортного варианта, все запасные части взаимозаменяемы.

На данный момент опытный образец буровой установки прошел заводские испытания и эксплуатируется на предприя-



Гидравлический перфоратор HLX5-MX производства АО «Машиностроительный холдинг» на первой буровой установке DF-C2



Детализированная 3D-модель подземной гидроперфораторной установки очистного бурения DH-B1

тии АО «СЗФК», специалисты МХ постоянно находятся рядом с установкой и фиксируют параметры ее работы.

Для обеспечения полного цикла буровых работ в горных выработках средних сечений перед конструкторским подразделением АО «МХ» стояла задача в кратчайшие сроки разработать и выдать в производство комплект документации на буровую установку для бурения глубоких скважин и установку для механизированной установки анкерной крепи на едином шасси буровой проходческой установки DF-B1.

Ни одна современная горнодобывающая компания, стремящаяся к повышению производительности, ведущая добычу полезных ископаемых подземным способом при помощи механизированной техники, не обходится без гидроперфораторных буровых установок очистного бурения. Эти установки жизненно необходимы предприятиям для достижения поставленных задач и добыче необходимых объемов руды. АО «МХ» было принято решение создать такую установку в кратчайшие сроки и наладить серийное производство.

В первую очередь потребовалась разработка гидравлического перфоратора, способного бурить глубокие очистные скважины. За прототип был взят импортный перфоратор Sandvik HL820ST мощностью 21 кВт. Учитывая наш предыдущий опыт по разработке, изготовлению и внедрению перфоратора HLX5-MX, конструкторам и производству АО «МХ» было на порядок проще в освоении новой модели. Далее при поддержке предприятия-партнера ООО «ЕВРАЗ» начался реинжиниринг бурового модуля импортной установки Sandvik DL321, которая была взята за прототип будущей установки DH-B1.

На конец 2023 г. конструкторским подразделением АО «МХ» разработано КД на подземную гидроперфораторную установку очистного бурения DH-B1. Неоспоримым преимуществом установки DH-B1 является ее единое шасси с DF-B1. Они имеют одни и те же гидростатическую трансмиссию, дизельный двигатель, задние мосты, раздаточную коробку, кабельный и водяной барабаны и т.д. Унификация шасси позволяет потребителю упростить заказ запасных частей и расходных материалов, а производителю – ускорить цикл производства.

Установка DH-B1 имеет одну из самых востребованных конструкций бурового модуля, позволяющего оператору находиться под защитным козырьком, что значительно повышает безопасность проведения буровых работ и полностью видеть весь процесс бурения, поскольку перфоратор и кассета конструктивно развернуты прямо к оператору. Буровой модуль, оснащенный автоматизированной кассетой, вмещающей



Установка для механизированного монтажа анкерной крепи DR-B1

20+1 штангу длиной 1525 мм, позволяет бурить скважины глубиной до 32 м. Конструкция опорного стола и наличие гидроцилиндров распора бурового модуля решают задачу надежного фиксирования буровой установки в процессе бурения, что напрямую влияет на точность бурения, качество скважин и стойкость бурового инструмента.

Сегодня нами уже изготовлен опытный образец, который успешно прошел заводские испытания и проходит промышленные на предприятии ОАО «УГМК» в условиях Гайского ГОКа. Наша сервисная служба и представители конструкторского отдела тщательно следят за работой установки, но это уже тема отдельной статьи.

Главным приоритетом большинства горнодобывающих предприятий является безопасность людей. Обеспечить безопасность проведения работ по креплению горных выработок без применения современной машины для механизированной установки анкерной крепи практически невозможно. Преимущественно горнодобывающие предприятия используют проходческие установки для монтажа анкерной крепи. Данный способ подразумевает периодическое присутствие человека в зоне незакрепленной кровли выработки, что совершенно небезопасно.

АО «МХ» полностью разделяет и поддерживает стремление горнодобывающих предприятий обезопасить свой персонал, и, чтобы помочь им в этом, в данный момент наши конструкторы разрабатывают установку для механизированного монтажа анкерной крепи DR-B1.

Как и в случае с разработкой очистной установки, мы начали с разработки самого важного узла – гидравлического перфоратора. В качестве прототипа был выбран перфоратор Sandvik RD314 мощностью 14 кВт. Перфоратор RD314-MX нашего производства уже сейчас проходит заводские испытания и готовится к отправке на горнодобывающие предприятия для проведения промышленных испытаний.

Мы продумали конструкцию будущей установки таким образом, чтобы сотрудники не находились в незакрепленной выработке в процессе монтажа анкерной крепи, и учли все тонкости и нюансы процесса при разработке новейшей установки DR-B1. Установка DR-B1 может монтировать анкеры вплоть до 3 м в длину. Автоматизированная кассета может вмещать до 15 анкеров. Имеется возможность оборудования установки любыми опциями, позволяющими монтировать все существующие типы анкерной крепи, кроме тросового. Как и буровая установка ДН-B1, установка DR-B1 будет построена на базе шасси проходческой установки DF-B1.

Мы планируем изготовить опытный образец установки DR-B1 уже в IV квартале 2024 г.! После этого события мы закроем всю линейку подземных буровых самоходных установок для средних размеров сечений горных выработок. Наш комплекс сможет решить весь спектр буровых задач, а универсальность шасси позволит существенно упростить обслуживание и ремонт, что, в свою очередь, значительно повысит КТГ.



620024, Россия, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Симская, 1
 e-mail: info@mash-hold.ru
www.mash-hold.ru



16+

РЕКЛАМА

Квалифицированные работы по
техническому перевооружению
предприятий горно-
обогатительного комплекса.
Модернизация технологических
трубопроводов, комплексная
поставка обогатительного
оборудования, насосы, СПФ,
НСО, МК. Защита оборудования
от абразивного износа. Поставка
промышленных изделий из
износостойкого плавленого
базальта. Оптимальные
технологические решения.
Монтаж, ПНР, ГО и ПГО.
Собственное производство.

300911, г. Тула, пос. Комсомольский, ул.
Станционная, д. 4.
Телефоны: +7 (4872) 740-150;
+7 910-943-23-07

652515, г. Ленинск-Кузнецкий, ул.
Вокзальная, д. 3.
Телефоны: +7 (38456) 49-241;
+7 913-076-46-84

654033, г. Новокузнецк, ул. Эстакадная,
д. 15, кор. 12.
Телефон: +7 905-910-75-85

623103, г. Первоуральск, проспект Ильича,
д. 96, пом. 19.
Телефоны: +7 (3439) 645-675;
+7 965-543-22-54

344029, г. Ростов-на-Дону, проспект
Сельмаш, д. 90а/176, оф. 1314.
Телефоны: +7 (863) 275-04-19;
+7 919-878-77-27

ЭУТИТ-БАЗАЛЬТ

Техническое перевооружение
промышленных предприятий с 2008 года

16+

РЕКЛАМА



ГИНТЕЛЛ

ГОРНЫЙ
ИНТЕЛЛЕКТ

С ДНЁМ ШАХТЁРА!



gintell.ru

info@gintell.ru

Экономичный и производительный ЧЕТРА Т30.03

Компания ЧЕТРА продолжает разработку современных моделей бульдозеров для горнодобытчиков.

Гусеничный бульдозер ЧЕТРА Т30.03 успешно прошел испытания на полигоне АО УК «Кузбассразрезуголь». Машина оказалась экономичней и производительней аналогичной североамериканской техники соответственно на 18 и 26%.

ЧЕТРА Т30 – третье поколение техники, призванное заменить бульдозеры ЧЕТРА Т25 первого и второго поколений. Машина весит 52 т. Дизельный двигатель ТМЗ 8523 мощностью 507 л. с. На ней установлена инновационная двухпоточная трансмиссия собственного производства с блокируемым одноступенчатым гидротрансформатором. Это позволит добиться повышения КПД трансмиссии (до 10%), улучшить тяговые характеристики и увеличить производительность. ЧЕТРА Т30.03 оснащен полусферическим отвалом объемом 13,7 м³. Доступен также сферический вариант на 17 м³ и угольный – на 22 м³. Также предлагаются одно- или трехзубый рыхлители, либо тяговая лебедка.

Гидростатический привод вентилятора обеспечивает оптимальную температуру моторного отсека. В качестве дополнительной опции можно заказать автоматическую систему смазки узлов трактора. Семикатковая ходовая система уменьшает удельное давление на грунт и повышает общее сцепление гусениц с поверхностью. В конструкции применены проверенные временем и распространенные расходные материалы, что обеспечивает бесперебойное и недорогое техобслуживание.

Т30 может эксплуатироваться в температурном режиме –50/+35 °С. Управление машиной происходит при помощи джойстиков. Дисплей бортового ПК позволяет контролировать основные технические параметры, а система видеонаблюдения делает работу оператора более безопасной. Специалисты ЧЕТРА разработали дополнительную модификацию Т30 с дистанционной системой управления.

После введения антироссийских санкций доступ к зарубежным бульдозерам, которые использовались в отечественной горной промышленности, стал затруднительным. То же самое касается запчастей. Их приходится заменять на б/у либо аналоги или закупать по высоким ценам оригинальные комплектующие. Из-за увеличенных сроков доставки российские угольщики несут существенные потери.



**Исполнительный директор ООО «ЧЕТРА»
Владимир Антонов:**

«Сейчас у горнодобытчиков резкий рост заказов. Мы понимаем, что иностранные поставщики техники подводят российские предприятия к неисполнению производственных программ, срывая как поставку техники, так и сопровождение уже имеющихся машин. Компания ЧЕТРА углубляется в разработку новых моделей бульдозеров для горнодобывающей отрасли. Кроме ЧЕТРА Т30, мы создаем ЧЕТРА Т45».

Российские машиностроители не могли не отреагировать на такую ситуацию.

В более выгодном положении оказались производители, которые начали разрабатывать спецтехнику до введения санкций. Отличный пример – компания ЧЕТРА, специалисты которой создали бульдозеры Т45 и Т30, эксплуатационной массой 72 и 52 т соответственно.

ЧЕТРА

**Сделано в России.
Работает по всему миру**

+7 (8352) 388-488

+7 (8352) 387-455

chetra@tplants.com

www.chetra.ru

Дорогие шахтеры!

От всей души поздравляем вас с профессиональным праздником!

Мы благодарим вас за каждый килограмм добытого полезного ископаемого, за каждый час, проведенный в недрах земли. Ваш труд неоценим для развития нашей страны и ее экономики. Мы гордимся, что компания ЧЕТРА может внести вклад в вашу работу, обеспечивая шахтеров современным оборудованием и технологиями. Надеемся, что наше сотрудничество будет процветать и приносить плоды.

**Желаем крепкого здоровья, удачи, благополучия
и новых профессиональных высот!**

Ваша ЧЕТРА

Заказчик в центре процесса

Существенные изменения последних лет открыли новые возможности импортозамещения и развития отечественного производства. Горнодобывающая отрасль потребовала бесперебойных и прозрачных поставок качественных высокопрочных сталей, которые заменили бы привычные, но уже труднодоступные зарубежные аналоги. А вместе с этим выросла роль компетентных специалистов по работе с различными металлами.



О перспективах сложившейся ситуации и собственном опыте работы рассказывает Данила Шаповал, директор торгово-производственной компании «НовосибАРЗ-Сталь», специализирующейся на изготовлении износостойких деталей высокого качества.

Не секрет, что горное оборудование эксплуатируется в суровых и непредсказуемых условиях и его детали должны соответствовать серьёзным требованиям к износостойкости. Чтобы оставаться конкурентоспособными в отрасли, добывающим компаниям необходимо оперативно адаптироваться к изменяющимся условиям рынка, уменьшать количество вынужденных простоев техники и минимизировать расходы на ремонт.

Китай не заменил Европу

Долгое время такие задачи решались с применением европейских высокопрочных и износостойких сталей, которые позволяли сделать конструкцию горного самосвала или экскаватора более прочной и лёгкой. Так увеличивались производительность и объёмы перевозки пород, экономилась топливо и затраты на замену расходных материалов.

Эталонами качества для отечественной горнодобывающей отрасли всегда считались производители сталей из Швеции, Германии и Бельгии. После их ухода с российского рынка сегодня ассортимент в основном представлен китайскими износостойкими и высокопрочными сталями. Однако эти материалы изначально разрабатывались для внутренних потребностей КНР и предназначены для использования при температурах до -20°C .

У нас в Сибири зимой при открытой добыче столбик термометра опускается до -40 , -45°C . Поэтому футеровочные пластины из китайских сталей могут преждевременно выходить из строя, что приводит к дополнительным серьёзным издержкам из-за простоев техники и внеплановых ремонтов.

Решение от сибиряков

Для изготовления компонентов горной техники новосибирское предприятие «НовосибАРЗ-Сталь» напрямую с металлургического комбината получает российский металлопрокат Powerhard и Powerweld из линейки высокопрочных сталей POWERS производства ПАО «Северсталь». Это износостойкая Powerhard 450 с гарантированной твёрдостью не менее 450 НВ и высокопрочная Powerweld 690 с пределом текучести >690 МПа. Расскажу о них подробнее.

Данные стали пригодны к различным видам термической резки – плазменной, лазерной и газовой. Они легко свариваются без предварительного подогрева (в том числе и в природных условиях) и показывают себя хорошо при гибке вплоть до толщины 40 мм.

Ударная вязкость испытывается у них при температуре -40°C , и на каждый лист стали выдается индивидуальный сертификат качества. Это позволяет с уверенностью применять российскую сталь при импортозамещающем производстве ков-

шей, кузовов карьерных самосвалов, отвалов бульдозеров, ножей для спецтехники и других компонентов горного оборудования, подверженных абразивному и ударному износу.

Весной 2023 г. наша компания получила статус авторизованного дилера ПАО «Северсталь» по реализации высокопрочных и износостойких марок сталей на территории Сибирского и Дальневосточного федеральных округов. Летом 2024 г. специалисты «НовосибАРЗ-Сталь» приступили к изготовлению из этих сталей комплектов для новейшего кузова карьерного самосвала КАМАЗ грузоподъёмностью 240 т и кузова для Komatsu HD 785 грузоподъёмностью 90 т.

В планах повысить ходимость элементов машин и агрегатов горнодобывающей отрасли не менее чем вдвое по сравнению со стандартными решениями. Это возможно с применением перспективного биметаллического материала Powerhard Duo.

Выбирайте надёжных!

С начала своей карьеры руководителя сибирского подразделения ООО «ССАБ Шведская Сталь СНГ» (Hardox) в 2009 г. при взаимодействии с партнёрами всегда придерживался принципа «Вы в центре процесса!». Этот принцип я привнёс и в компанию «НовосибАРЗ-Сталь» вместе со своими 16 годами опыта работы в горнодобывающей промышленности и тяжёлом машиностроении.

Наше предприятие входит в структуру завода АО «НовосибАРЗ», признанного эксперта в производстве премиальной полуприцепной техники из высокопрочных сталей.

Мы детально вникаем в производственные процессы заказчиков, что позволяет подобрать решение именно под их задачи. Погружаемся в специфику бизнеса, проводим аудит технических процессов партнёров. После этого находим корень проблемы, раскладываем её на понятные составляющие и разрабатываем оптимальные инженерные и экономические решения. В итоге заказчики получают результат, превосходящий их ожидания. То есть выбранная нами модель работы подтвердила свою эффективность. «НовосибАРЗ-Сталь» продолжит развивать это направление.

Уверен, наш подход «Заказчик в центре процесса» будет становиться всё более актуальным для отечественной горнодобывающей отрасли. В ближайшие 2–3 года ожидается интенсивный рост промышленного потенциала России за счёт дальнейшего развития экономики в условиях импортозамещения, укрепления технологического суверенитета и усиления внутренней кооперации. Поэтому добывающим предприятиям представляется разумным уже сейчас формировать собственный пул надёжных партнёров, которые ценят репутацию, долгосрочные партнёрские отношения и профессиональный подход к совместному решению производственных задач.

www.novosibarz-steel.com

НОВОСИБ АРЗ СТАЛЬ
износостойкие и высокопрочные решения

20 ЛЕТ
В ПРОЕКТИРОВАНИИ

330 ЭКСПЕРТИЗ РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ
ПРОЙДЕНО НА СЕГОДНЯШНИЙ ДЕНЬ

1 090 ВЫПОЛНЕННЫХ
ПРОЕКТОВ

85 ПРОЕКТОВ ВЫПОЛНЕНО
В 2022 ГОДУ

16+

РЕКЛАМА



Геотехнология
Научно-Технический Центр

ПРОЕКТИРУЕМ НАДЕЖНОЕ БУДУЩЕЕ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ: ОТКРЫТЫЕ
И ПОДЗЕМНЫЕ ГОРНЫЕ РАБОТЫ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ОБЪЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННОЙ,
ТРАНСПОРТНОЙ И СОЦИАЛЬНОЙ
ИНФРАСТРУКТУРЫ

ИНЖИНИРИНГ
И ОРГАНИЗАЦИОННО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АУДИТ

ПОДГОТОВКА
СПЕЦИАЛЬНЫХ РАЗДЕЛОВ
ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

ИНЖЕНЕРНЫЕ
ИЗЫСКАНИЯ

АВТОРСКИЙ НАДЗОР

ОХРАНА
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

«НТЦ-Геотехнология»: 20 лет эффективных решений для горной промышленности

ООО «Научно-Технический Центр – Геотехнология» уже 20 лет выполняет полный комплекс проектно-изыскательских работ для строительства и реконструкции промышленных предприятий, будь то разработка месторождения, переработка сырья, рекультивация нарушенных территорий и объектов накопленного вреда.

Компания была создана в 2004 г. на базе Отдела технологии горных работ Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института по добыче полезных ископаемых открытым способом (НИИОГР) в Челябинске. За 20 лет работы выросла в один из ведущих проектных центров России с заказами по всей стране и ближайшем зарубежье.

Эффективность и безопасность проектов

Сегодня основным направлением Центра является выполнение всего комплекса изысканий и разработки проектной документации для промышленной и социальной инфраструктуры промышленных объектов, в том числе на опасных производственных комплексах, связанных с открытой или подземной добычей полезных ископаемых. Качественно выполненные проекты обеспечивают эффективность разработки месторождения, гарантируют промышленную и экологическую безопасность при эксплуатации.



А.В. Соколовский,
генеральный директор
компании

«Сегодня Центр – это единая компания специалистов с высокой методической квалификацией, которая развивает и совершенствует свои услуги и сервис, чтобы вести долгосрочный диалог с заказчиками, – подчеркивает генеральный директор Александр Валентинович Соколовский. – Благодаря тщательной проработке деталей проекта повышается качество и эффективность добычи, снижается риск возникновения аварийных ситуаций и улучшается экологическая обстановка на объекте. Наши проекты берегут природу России».

«НТЦ-Геотехнология» имеет все необходимые лицензии и допуски СРО России и Республики Казахстан для выполнения проектно-изыскательских и маркшейдерских работ. Система контроля качества сертифицирована по стандартам ISO 9001:2008.

Признание ООО «НТЦ-Геотехнология» в профессиональных кругах подтверждается списком заказчиков, среди которых – ведущие предприятия горнодобывающей, топливно-энергетической и перерабатывающей промышленности. Проекты были выполнены в сжатые сроки и соответствовали комплексным показателям эффективности для рынка данных услуг. При этом они прошли проверку временем и были технически реализованы заказчиками.

Среди знаковых проектов можно выделить проекты освоения Михеевского и Томинского медно-порфировых месторождений, проект участка первоочередной отработки Эльгинского месторождения с временной промплощадкой, вахтовый поселок на Эльгинском месторождении, проект первой очереди освоения Удоканского месторождения в Забайкальском крае с промышленной инфраструктурой, золоторудного месторождения «Павлик» в Магаданской области, Мокулаевское месторождение известняка в Красноярском крае, а также проекты ряда угольных предприятий – разрез «Заречный», «Шахта 12» в Кемеровской области и другие.

География работ распространяется от Мурманска до Магадана, есть проекты для месторождений в Казахстане и Узбекистане. Всего компания выполнила более 900 работ, из них 700 – проектные работы для горных и перерабатывающих предприятий, проекты экологической направленности по восстановлению нарушенных территорий и объектов накопленного вреда.

Проектирование – это командная работа

Как учитывать интересы заказчиков, инвесторов и государства при разработке месторождения? В «НТЦ-Геотехнология» знают ответ: постоянно развивать применяемые методы и технологии, внедрять инновационные подходы в проектировании и не снижать темпы работ.

«НТЦ-Геотехнология» – один из ведущих научно-исследовательских и проектных центров, который специализируется на проектировании горнопромышленных комплексов. На сегодня роль развития экономического потенциала горной промышленности в России с каждым годом возрастает. Тем самым растёт и вклад компании в экономику страны, – рассказывает технический директор компании Леонид Петрович Лейдерман. – За плечами у наших специ-



Л.П. Лейдерман,
технический директор
компании

алистов проектирование Михеевского, Томинского ГОКов, строящегося Малмыжского ГОКа – это масштабные, современные и высокотехнологичные объекты. Хочу подчеркнуть, что основная ценность нашего научно-технического центра – это компетенции специалистов. Мы принимаем, обучаем, помогаем расти. И растем вместе с нашими коллегами-заказчиками».

Многие объекты «НТЦ-Геотехнология» сложны с технологической точки зрения, поскольку находятся на

удалённой, неосвоенной территории, в сейсмических районах и непростых климатических условиях. Их проекты учитывают более жесткие требования государства к освоению недр вблизи охраняемых земель, заповедников, крупных водных объектов или рядом с населёнными пунктами. Такие условия требуют индивидуального подхода к проектированию.

«Мы не относимся к разработке документации только формально, а находим решение для эффективной и безопасной разработки месторождений, обеспечиваем прохождение экспертиз любого уровня для данного решения. Высокий уровень квалификации сотрудников позволяет не просто работать по регламентам, но искать и оптимизировать проект для заказчиков», – уточняет коммерческий директор Кристина Сергеевна Лапаева-Милославская.

В состав компании входят специалисты с большим опытом работы в области горных наук, строительной промыш-



К.С. Лапаева-Милославская,
коммерческий директор
компании

ленности, а также молодые учёные и инженеры. Они занимаются разработкой проектов с новейшими технологиями, которые используются в различных отраслях промышленности. Всего в Центре 17 подразделений, в которых трудятся больше 100 сотрудников с высшим образованием, среди них 4 кандидата и 3 доктора наук. ООО «НТЦ-Геотехнология» поддерживает тесные связи с ведущими отраслевыми проектными институтами и научно-исследовательскими орга-

низациями страны. Специалисты научно-технического центра создают более 80 проектов ежегодно.

Основные результаты исследований компании регулярно публикуются в научных периодических изданиях, монографиях и учебных пособиях, представители компании выступают на российских и международных конференциях и симпозиумах.

За 20 лет работы НТЦ-Геотехнология зарекомендовала себя как надёжный партнер, который формулирует потребности заказчика и ищет решение для любой ситуации. Компетенции инженеров, экологов, ГИПов, технических специалистов позволяют оказывать полный комплекс услуг для недропользователей. Мы признательны заказчикам за доверие, понимание и длительное сотрудничество. Благодаря им мы не стоим на месте, а постоянно развиваемся, ищем надёжные и эффективные решения и проектируем новые объекты.



ООО «НТЦ-Геотехнология»
620050, Свердловская обл., г. Екатеринбург,
ул. Техническая, 18-6 литер А
Почтовый адрес: 454004, г. Челябинск, а/я 13-533
тел.: +7 (351) 220-22-00
e-mail: info@ustup.ru
www.ustup.ru



ROSNEFT REVOLUX D3 LL 15W-40

Надёжная защита двигателя

Горнодобывающая промышленность – это целый мир, со своими законами, правилами, традициями и даже суевериями. Тысячелетиями горняки работали ручными инструментами, надеясь только на себя, удачу и помощь духохранителей, таких как уральская Хозяйка Медной горы. По мере того как инструменты становились сложнее, все чаще вставал вопрос их поддержания в рабочем состоянии. Современному карьерному самосвалу точно не нужны дары и подношения, а вот должное обслуживание и правильный выбор моторного масла позволят ему проработать долго и без простоев.

Хорошее обслуживание техники невозможно без качественных смазочных материалов. Стабильность и свойства моторного масла имеют большое значение и для двигателя привычного нам легкового автомобиля, и тем более для силовых агрегатов горнопромышленной техники, такой как, например, карьерные самосвалы БЕЛАЗ-75131 или БЕЛАЗ-75306. При снаряженной массе от 107 до 156 т и грузоподъемности от 130 до 220 т двигатели таких машин всегда находятся под колоссальной нагрузкой. Поэтому грамотный выбор моторного масла становится еще более важен.

Как же выбрать лучшее масло? Можно положиться на мнение коллег, но единственно верный путь – **довериться результатам испытаний в полевых условиях.**

В общепринятой практике смазочные материалы проверяют в ходе 1–3 циклов* испытаний (*один цикл – одна замена моторного масла), однако при тестировании моторного масла Rosneft Revolux D3 LL 15W-40 замеры проводились на протяжении 9 циклов с различными степенями эксплуатационной нагрузки при интервале замены в 250 моточасов.

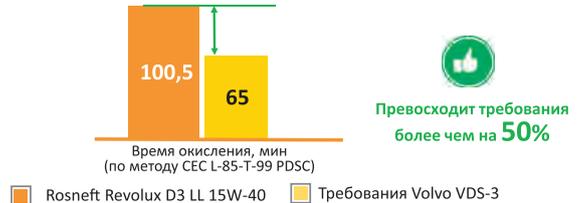
Такой обстоятельный подход к проверке продукта позволяет специалистам убедиться в стабильности свойств масла и быть уверенными в его эффективной работе в тяжелых условиях эксплуатации. Современные технологии, которые были применены при разработке масла Rosneft Revolux D3 LL 15W-40, позволили существенно увеличить ресурс работы двигателя и за счет высокой термоокислительной стабильности предотвратить образование высоко- и низкотемпературных отложений даже при очень серьезной нагрузке. При этом защита двигателя обеспечивается в течение всего срока эксплуатации масла.

Специалистам компании «Роснефть» удалось:

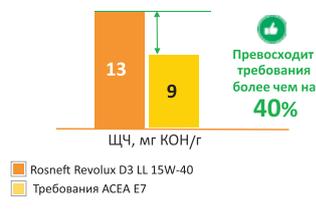
- значительно **усилить антиокислительные свойства** по сравнению с требованиями международных производителей техники (за счет специально подобранной комбинации присадок и использования синтетических технологий базового масла, не свойственных для большинства масел этого сегмента)

- существенно **увеличить запас моющих свойств** (по сравнению со стандартными продуктами эксплуатационного уровня ACEA E7)

АНТИОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА



Для свежего масла ЗАПАС МОЮЩИХ СВОЙСТВ



После 9 циклов испытаний ЗАПАС МОЮЩИХ СВОЙСТВ



Для обратной связи с потребителями в арсенале компании «Роснефть» есть два профессиональных технических сервиса, занимающихся комплексной проверкой оборудования и оптимизацией сроков замены масла:

Сервис диагностики – где при помощи видеоэндоскопа проводится диагностическая экспертиза двигателя, позволяющая оценить состояние цилиндропоршневой группы и проверить ее на предмет повышенного образования отложений, наличия задиров, царапин, а также оценить полировку зеркала цилиндра. Так можно предупредить технические неисправности, поломку дорогостоящей техники и, как следствие, существенно снизить время ее простоя.

Сервис мониторинга позволяет специалистам контролировать работу масла в процессе эксплуатации. Анализ осуществляется по широкому спектру физико-химических показателей. В финальном отчете содержится информация о состоянии смазочного материала, элементах его загрязнения и износе оборудования. Благодаря лабораторному анализу можно предотвратить значительную часть поломок двигателя.

Моторное масло Rosneft Revolux D3 LL 15W-40 разработано и произведено командой профессионалов «РН-Смазочные материалы», дочернего предприятия компании «Роснефть», которое занимается разработкой и реализацией новых видов смазочных материалов Компании. Высококачественные масла и присадки производятся в исследовательских институтах и на предприятиях НК «Роснефть».

Доверьте заботу о Вашей технике профессионалам «Роснефть».

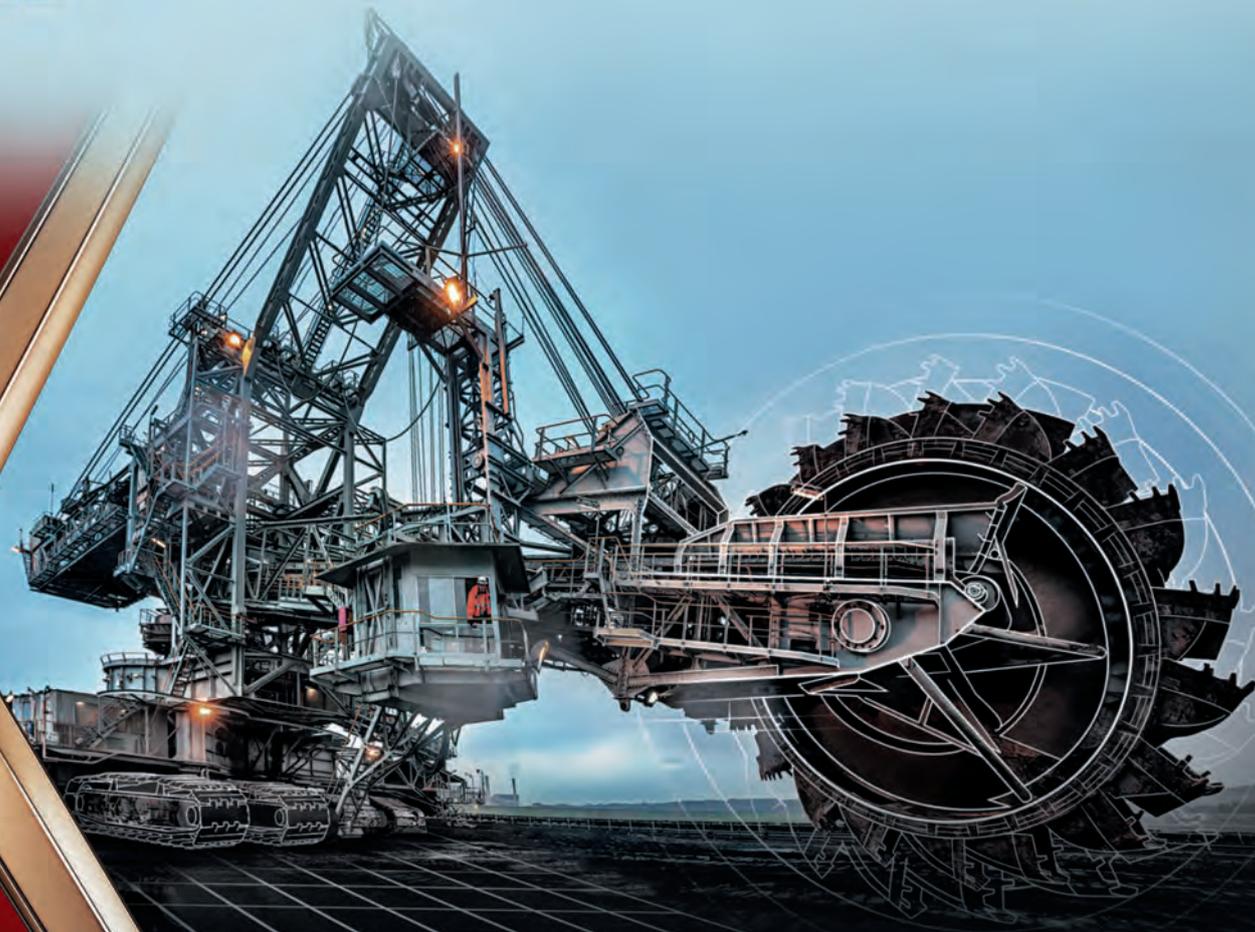
Узнать подробнее о свойствах моторного масла Rosneft Revolux можно на сайте





REVOLUX

D3 LL



**ПРЕВОСХОДНАЯ ЗАЩИТА
ДВИГАТЕЛЯ
В ЛЮБЫХ УСЛОВИЯХ**

ПОСЕТИТЕ САЙТ REVOLUX,
ВОСПОЛЬЗОВАВШИСЬ
QR-КОДОМ



ROSNEFT-LUBRICANTS.RU

16+

РЕКЛАМА

СВЕТОТЕХНИКА для тяжелых условий эксплуатации



ОАО «Зенит» специализируется на разработке и производстве импортозаменяющей светодиодной светотехники для тяжелых условий эксплуатации.

Более 10 лет светодиодные фары и фонари производства ОАО «Зенит» используются на самосвалах, бульдозерах, погрузчиках, экскаваторах «БЕЛАЗ», скреперах «МоАЗ», тракторах «МТЗ», карьерных буровых станках СБШ-250 «Нева», буровой технике «ФИДМАШ», комбайнах ОАО «Гомсельмаш» и ООО «Комбайновый завод «Ростсельмаш», продукции машиностроительных заводов «Тонар», ООО ПК «Промтрактор», технике других белорусских и российских производителей. Круг потребителей постоянно расширяется в связи с желанием многих изготовителей иметь проверенную временем надежную отечественную светотехнику во избежание возможных рисков. Основные отличительные особенности светотехники – современный технический уровень, высокие светотехнические характеристики, безотказность, крайне низкий уровень помех другому оборудованию, защита другого электронного оборудования за счет способности фар и фонарей к ограничению и поглощению выбросов в бортовой сети. С 2013 г. только в составе техники ОАО «БЕЛАЗ» более 200 000 единиц нашей светодиодной светотехники надежно эксплуатируется в десятках стран мира. В настоящее время светотехника ОАО «Зенит» признается оригинальной для техники ОАО «БЕЛАЗ».

Предприятие имеет полный цикл создания продукции, включая разработку моделей светотехники на основе накопленного многолетнего опыта, изготовление электроники, корпусов, деталей, выполняет сборочные и другие операции, испытания готовой продукции. Сборкой светотехники из готовых узлов зарубежного производства предприятие не занимается. Это позволяет быстро подбирать оптимальную для заказчика модель светотехники, а при необходимости, видоизменять серийную.

С 2013 г. светодиодная продукция ОАО «Зенит» успешно конкурирует как по техническим характеристикам, так и по надежности с продукцией западных производителей, таких как «HELLA» (Австрия), «TYRI» (Швеция), «PROLIGHT» (США), «NORDICLIGHTS» (Финляндия). Использование предлагаемой продукции вместо западной светотехники позволяет снизить затраты, в современных условиях снижение может превышать десятки раз. В случае замены продукции из Юго-Восточной Азии предлагаемая

продукция позволяет существенно повысить качество освещения, надежность, получить гарантии соответствия Правилам ООН, снизить сроки и повысить стабильность поставок в изменяющейся ситуации на мировом рынке.

Освоенная номенклатура покрывает большинство возникающих потребностей по применению фар и фонарей в карьерной, тракторной, сельскохозяйственной технике, технике лесного хозяйства, буровой технике, технике для строительных работ и др. Серийно производятся внедорожные светодиодные фары дальнего, ближнего, противотуманного, рабочего света с разнообразными возможностями. В соответствии с Правилами ООН изготавливаются указатели поворота, габаритные огни, стоп-сигналы, сигналы заднего хода, дневные ходовые огни, противотуманные огни, под заказ изготавливается широкая номенклатура иной продукции.

В серийном производстве есть универсальные модели, способные успешно решить задачи освещения на находящейся в эксплуатации технике западных производителей. Фары подходят для самосвалов, погрузчиков, экскаваторов и другой карьерной техники.

К универсальным моделям относятся дальний свет (фара ФРОС 24 01 G 2700 O1), ближний транспортный свет с антиослеплением (фара ФРОС 24 01 S4 2000 O1), универсальный свет для ближних и средних дистанций (ФРОС 24 01 O 2500 O1), свет для заднего хода средних и ближних дистанций, а также освещение зон заднего хода (фара ФРОС 24 01 P 2000 O1), освещение палубы, моторного отсека (фара ФРОС 24 01 В 1800 O1 или фонарь ФБ 01 24 O1 Д и его модификации). Для техники 12 В предлагаются универсальные фары ФРОС 12 01 O2 2400 Г2.

Изготавливаются уникальные фонари ФПС 02 24 O1 в малом размере (81 мм) с функциями дневного ходового огня, указателя поворота и габаритного огня (в модели ФПС1 02 24 O1 дневной ходовой огонь не устанавливается).

Подробнее о продукции можно узнать на сайте www.zenit.by/каталоги/ каталог «Светодиодные фары и фонари для тяжелых условий эксплуатации».



ОАО «Зенит», Республика Беларусь,
212000, г. Могилев, ул. Гришина, 94
e-mail: zenit@zenit.by
www.zenit.by



ДРОБЛЕНИЕ ■ ГРОХОЧЕНИЕ ■ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ
■ ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ



РЕКЛАМА

16+

ДРОБИЛЬНО-СОРТИРОВОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ HONGXING



Широкая линейка
продукции



Более 20 лет
на рынке ДСО



3 собственных
крупных завода



Продукция прошла
сертификацию ГОСТ,
ISO9001, CE

FNGROUP – официальный партнер в России по поставке и обслуживанию дробильно-сортировочного оборудования Hongxing.

TITAN

16+

РЕКЛАМА



КАРЬЕРНЫЙ САМОСВАЛ ТИТАН НОВЫЙ ИГРОК – НОВЫЕ ПРАВИЛА



Высокая скорость
и экономия



Малый радиус
поворота



Низкий расход
топлива



Короткий
тормозной путь
и безопасность



Адаптирован
к российским
требованиям
и стандартам

FNGROUP

8 800 100 86 58

titan.fngroup.ru

Самосвал TITAN: 120 тонн достоинств

Компания FNGROUP начала регулярные поставки в Россию карьерного самосвала TITAN HT3130 грузоподъемностью 120 т. В условиях, когда сроки поставки новых горных машин растянулись на 7–15 месяцев и продолжают увеличиваться, как и цены на них, FNGROUP гарантирует поставку мощного, скоростного и экономичного самосвала TITAN в течение двух месяцев. Уже к осени первая партия 120-тонных самосвалов TITAN поступит на угольный разрез в Кузнецком бассейне.

В конце апреля 2023 года компания FNGROUP разместила в Китае заказ на производство 148 самосвалов в расчёте на будущий спрос. Машины выкуплены и фактически есть в наличии. Производственная линия самосвалов завода АНИ (Aerospace Heavy Industry), входящего в Китайскую аэрокосмическую научно-промышленную корпорацию тяжёлого машиностроения, сегодня полностью загружена заказом FNGROUP. Aerospace Heavy Industry входит в 100 крупнейших компаний Китая и 500 крупнейших компаний мира. Завод специализируется на производстве тяжелой горной техники, располагает центром НИОКР в Ухане, а также поставляет решения для беспилотных технологий.

Карьерные самосвалы производства Aerospace Heavy Industry пользуются большим спросом на китайском внутреннем рынке: более 9 лет они с успехом эксплуатируются в условиях резко континентального климата Внутренней Монголии – автономного региона на севере Китая. Это превосходные машины, соответствующие китайским нормативам, которые по ряду параметров жёстче российских требований.

Завод производит большегрузные самосвалы грузоподъемностью от 100 до 363 т. Сегодня компания FNGROUP выводит на рынок 120-тонную машину – флагманский продукт HT3130. Карьерные самосвалы производства Aerospace Heavy Industry будут представлены в России под брендом TITAN.

Адаптация самосвала к российским условиям проходила в тесном сотрудничестве технических специалистов FNGROUP и АНИ. Специалисты и главный конструктор завода АНИ посещали российский добывающий предприятия для изучения условий эксплуатации, требований и стандартов. Российские специалисты неоднократно выезжали на завод для уточнения спецификаций и технологий. Итогом совместной работы стала глубоко модернизированная модель TITAN HT3130. Об особенностях и преимуществах новинки российского рынка рассказал **Станислав Решетень**, руководитель направления горной техники компании FNGROUP.

Независимый от санкций

TITAN HT3130 представляет собой двухосный карьерный самосвал с жёсткой рамой и дизель-электрическим приводом, состоящим из дизельного двигателя Weichai мощностью 1045 кВт, агрегатированного с генератором, и встроенных в задний мост мотор-колёс производства CRCC. В состав корпорации CRCC (China Railway Construction Corporation) входит завод, выпускающий электронное и электрическое оборудование для высокоскоростных поездов, а также для тяжёлых большегрузных самосвалов.

Несущие металлоконструкции и кузов выполнены из высокопрочных и износостойких сортов стали производства ведущих китайских металлургических комбинатов.

«Наши самосвал независим от санкций, в нем нет элементов, которые могли бы сейчас или в обозримом будущем попасть под санкционное давление, – рассказал Станислав Решетень. – Однако по требованию заказчика мы готовы установить на машину другой дизельный двигатель. Тогда самосвал утратит иммунитет к санкциям, но может поставляться в другие страны, например, в Казахстан».

Скоростной и экономичный

Машина разрабатывалась под российские климатические и технические условия эксплуатации. *«Металлоконструкции, прежде всего рама, смоделированы, просчитаны и выполнены таким образом, чтобы машина смогла эффективно работать в течение 7–8 лет. Производитель сознательно указал грузоподъемность машины в 120 т с запасом прочности. По сути, это привычная горнякам 130-тонная машина, – пояснил Станислав Решетень. – Все несущие конструкции были подвержены тестам и анализам на кручение и изгиб при температуре до –50 °С. Машина смоделирована целиком, чтобы учесть взаимное влияние компонентов и груза. В итоге удалось создать самосвал, который весит меньше, но перевозит столько же груза, сколько и ближайšie аналоги, при этом быстрее на 17%».*

Меньшая масса самосвала требует менее мощного двигателя, потребляющего меньше топлива. На TITAN HT3130 установили дизельный двигатель Weichai с рабочим объёмом 39,2 л, тогда как на ближайшем аналоге стоит двигатель объёмом 52,3 л, что на 33% больше.

Манёвренный

Независимая передняя подвеска Макферсон обеспечивает радиус поворота 24,5 м, что на 15% эффективнее, чем у ближайшего аналога. *«Мы не стали изобретать велосипед, а использовали решение японских машиностроителей, – продолжил Станислав. – Таким образом, мы сократили радиус поворота и улучшили управляемость машины. Кроме того, независимая передняя подвеска создает физический и психологический комфорт для водителя».*

Устойчивость гружёного самосвала на прямых участках, в поворотах, на продольных и поперечных уклонах обеспечивает зависимая задняя подвеска с гидропневматическими цилиндрами, продольными рычагами и поперечной тягой, также представляющая собой отраслевой стандарт.

Морозоустойчивый

Самосвалы HT3130 в течение многих лет эксплуатируются в суровых климатических условиях, в том числе во Внутренней Монголии при температуре до –45 °С зимой. Металлоконструкции, система охлаждения двигателя, система отопления и кондиционирования кабины прошли все испытания тем-



пературами, нагрузками, сильной запылённостью. Все эти достоинства унаследовал самосвал ТИТАН HT3130, дополнительно адаптированный к условиям Сибири и Дальнего Востока.

Один из самых безопасных

Рабочая тормозная система в совокупности с электродинамическим торможением тяговыми двигателями обеспечивает полностью гружёному самосвалу тормозной путь 18,4 м со скоростью 30 км/ч до полной остановки, что на 14,2% лучше ближайшего аналога.

«Кроме того, кабина и подкапотное пространство спроектированы так, что даже при столкновении самосвала с другим, двигающимся с ним в одну линию самосвалом, водитель останется в безопасности, – рассказал Станислав. – Под кабиной расположена плита, защищающая при взрыве колеса. Козырёк и силовой каркас кабины защитят водителя при опрокидывании самосвала. Стандарты безопасности в КНР жёстче и шире российских, и завод АНУ уделяет им повышенное внимание. Приведу такой пример. У ТИТАН HT3130 объём тормозного аккумулятора 15 л, и в случае аварийного торможения при полностью обесточенном самосвале можно задействовать тормоза до пяти раз подряд. В аналогичных машинах других производителей – только два-три раза. Ёмкость гидроаккумулятора рулевого управления достигает 302 л, что обеспечивает более двух полноходовых рулевых операций в аварийной ситуации. Мы убеждены, что ТИТАН HT3130 – один из самых безопасных самосвалов».

Адаптирован к российским стандартам

Самосвал адаптирован к требованиям российских горнодобывающих предприятий, российского законодательства и контролирующих органов, включая сигнализацию о приближении к ЛЭП, камнеотбойники, уплотнения поршней, гидросистему до -50°C и т.д. Для достижения этого результата в течение года специалисты FNGROUP неоднократно выезжали на завод, а специалисты завода посещали места будущей эксплуатации самосвалов.

Скальный или угольный кузов

На сегодня предусмотрены два варианта кузова: скальный и угольный. Днища обоих выполнены из низколегированной высокопрочной горячекатаной стали Q550E с пределом прочности 550 МПа производства китайской корпорации GNEE STEEL, а борта из стали NM400, легированной никелем и марганцем.

«Мы готовы разрабатывать кузова под определённые условия и материалы, и даже поставлять шасси без кузовов. В этом плане мы достаточно гибкие», – добавил Станислав.

Доступные шины

Для горняков закупка большегрузных шин составляет значительную статью расходов. При этом они не всегда доступны, особенно после ухода западных шинных брендов. «Шины – тоже одно из наших преимуществ, – заверил Станислав. – Мы устанавливаем шины 30.00R51, которые доступнее других размеров, в частности, популярного 33-го, и при сравнимом ресурсе стоят на 40% дешевле. На таких шинах с успехом работают и в Кузбассе, и на Урале. Эти шины – не дефицит, их можно спокойно купить на рынке. Мы готовы поставлять шины 30R51 в том числе и для других самосвалов».

Сервисное обслуживание на всей территории РФ

Компания FNGROUP готова поставлять самосвалы по всей территории РФ через свою сервисную сеть, которая насчитывает 80 локаций от Калининграда до Магадана. О возможностях компании по сервисному обслуживанию самосвалов рассказал Михаил Вислогузов, директор по продажам спецтехники. «FNGROUP ведет свое происхождение от известной в недавнем прошлом в России компании Ferronordic, официального российского дилера спецтехники Volvo, Sandvik, Terex Trucks, Dresssta и прочих. FNGROUP, сменив имя, сохранила накопленные с 2010 г. традиции, компетенции и активы. Сегодня, как и в переходный период от Ferronordic к FNGROUP, у нас 80 офисов, более 30 вахт на предприятиях заказчиков, 700 сервисных специалистов и 500 мобильных бригад. FNGROUP сохранила абсолютно все активы. В первую очередь мы сохранили штат квалифицированных специалистов – самый ценный наш ресурс. Когда в 2022 году пришли российские инвесторы, компания быстро перестроилась. Ключевыми брендами выбрали LiuGong и Dongfeng – одних из лучших китайских производителей строительной и горной техники и коммерческого транспорта, сейчас линейка брендов расширяется. В качестве партнеров мы выбираем только надежных и проверенных поставщиков. Мы использовали и адаптировали опыт, накопленный в Ferronordic, к технике новых для нас брендов, при этом не останавливая сервисной поддержки техники Volvo».

Для обслуживания горной техники у FNGROUP предусмотрено два варианта взаимодействия с заказчиком. Если офис компании расположен достаточно близко, то он напрямую обслуживает предприятие или ГОК. Если далеко, то на ГОКе открывают вахту – постоянно присутствующий персонал с оборудованием, инструментами, операционным складом запчастей. Заказчик выделяет вахте только помещение. Для постоянного контроля местоположения, технического состояния машины, расхода топлива FNGROUP устанавливает на машины систему телематики российской разработки.

«Мы практикуем различные формы сервисных контрактов, вплоть до контракта КТГ, но каждый – это уникальная



работа наших специалистов и специалистов заказчика», – дополнил коллегу Станислав.

Оба варианта – и стационарные офисы, и вахты, будут использованы для сборки, запуска и обеспечения эксплуатации самосвалов TITAN. Группа сервисных специалистов FNGROUP уже прошла обучение на заводе Aerospace Heavy Industry, сейчас стажировается вторая группа.

Есть планы по увеличению количества офисов по всей стране. Со временем, возможно, в сферу сервиса самосвалов TITAN войдет и завод по восстановлению узлов и агрегатов в городе Березовском Свердловской области.

Потенциал завода в Березовском

Вместе с сервисной сетью компания FNGROUP унаследовала у Ferronordic и завод по восстановлению узлов и агрегатов в Березовском, который был создан и продолжает работать для ремонта техники Volvo Construction.

«Мощности завода – ремонтные, нагрузочные стенды позволяют ремонтировать двигатели объёмом до 50 л. Если возникнет необходимость увеличения мощностей, мы будем рассматривать различные варианты решения: строительство дополнительных цехов, поиск сервис-партнёров для выполнения определенных работ, – прокомментировал Михаил. – Дело в том, что Берёзовский – один из немногих заводов вне Швеции, одобренных Volvo. Потребность в ремонте техники Volvo растёт, и мы не бросим клиентов, которые в свое время купили у нас тысячи единиц техники».

Запасные части на все случаи

Запасные части для самосвалов TITAN будут поставляться вместе с сервисом. «У нас два крупных распределительных центра, – рассказал Михаил. – Один находится в Москве, в Шереметьево-Карго. Это очень удобно, когда необходимо срочно отправить запчасть в какой-либо из наших офисов. Второй распределительный центр – в Новосибирске, так как изменилась точка входа в страну основных товаров. Таким образом, мы охватываем как центральную часть России, так и восточную. Это наши центральные склады. Кроме того, у наших офисов и вахт есть локальные склады с определённой номенклатурой под клиентов. Сегодня объём хранения складов составляет несколько миллиардов рублей, что покрывает до 80% запросов заказчиков. Это больше требуемого западными стандартами, но мы делаем запас на случай задержек с поставками, чтобы наши клиенты не страдали».

Финансовые услуги облегчат приобретение самосвала

FNGROUP входит в общую группу с лизинговыми компаниями «Балтийский лизинг», CTRL, GILK, а также факторинго-

вой компанией Smartfact. По сумме активов это – одно из крупнейших лизинговых объединений в России. «Такой альянс позволяет формировать для заказчика оптимальный финансовый план приобретения самосвала, – объяснил Михаил. – Мы можем предложить заказчику взаимовыгодные финансовые условия, быть достаточно гибкими, что важно в сегодняшних реалиях. Дополнительное преимущество для заказчика состоит в том, что финансовые компании и мы входим в одну группу, поэтому условия кредитования будут мягче, чем при внешнем финансировании».

* * *

Компания FNGROUP предложила российскому рынку карьерной техники интересный продукт, обладающий массой достоинств – TITAN HT3130. Потребляя меньше топлива, этот карьерный самосвал манёврен, безопасен, адаптирован к российским условиям, сопровождается качественным сервисом и обеспечен запасными частями. При этом он более доступен по цене, чем ближайшие аналоги, а услуги партнёрских финансовых компаний FNGROUP облегчают заказчику заключение сделки.

«Удачно сложилось, что мы – компания FNGROUP и Aerospace Heavy Industry – сработались, – сказал в заключение Станислав. – Организация производства китайского завода и его продукция понравились нам как по уровню инженерно-конструкторских разработок, так и качеству исполнения. Китайским партнёрам понравились наш опыт, экспертиза и то, что мы делаем сегодня. Они увидели в нас сильного сервисного партнёра».

Следующим шагом FNGROUP будет адаптация и вывод на российский рынок самосвалов TITAN грузоподъёмностью 186, 240, а затем 363 т. «Завод уже выпускает эти машины, но мы не можем себе позволить привезти в Россию машину, которая окажется неэффективной. Нам важно, чтобы горняки продуктивно работали, а рынок машин и запчастей был грамотно организован. И мы будем продолжать работать совместно с заводом и заказчиками, создавая машины под их нужды и требования», – дополнил коллегу Михаил.

Таким образом, в горной промышленности начинается этап перевооружения, когда выводимую из эксплуатации западную технику заменят модели, созданные в сотрудничестве специалистов России и дружественных стран. Сейчас мы ожидаем мощного старта нового бренда карьерных самосвалов TITAN.

FNGROUP

FNGROUP – официальный дистрибьютор карьерных самосвалов TITAN (Aerospace Heavy Industry) в России.
8 800 100 86 58 | mining@fngroup.ru | titan.fngroup.ru



О перспективах развития горнопромышленного комплекса Арктической зоны Мурманской области

В преддверии XIII Международной горнопромышленной конференции «Баренц-Арктическое экономическое партнерство» (МГПК БАЭП-2024) на вопросы журнала «Горная промышленность» ответила президент Союза «Торгово-Промышленная Палата Мурманской Области» / Северная / – Татьяна Витальевна Русскова.

– Татьяна Витальевна, расскажите как возникла идея ежегодной международной горнопромышленной конференции «Баренц-Арктическое экономическое партнерство»?

– Борьба за ресурсы и достижения науки и техники в XXI веке усилили интерес мировых сообществ к богатствам арктических территорий. Географическое положение и уникальное скопление месторождений твердых полезных ископаемых Кольского полуострова предопределили значение нашего региона как площадки для взаимодействия и обсуждения перспектив и задач по освоению Арктики и одновременно по сохранению ее хрупкой экосистемы. Быстроменяющиеся реалии в сфере добычи твердых полезных ископаемых на арктических территориях РФ определили актуальность ежегодных встреч на площадке МГПК БАЭП. Сегодняшняя ситуация с ограничениями России в области экономических, гражданских, политических отношений лишь подчеркнула правильность решения о ежегодном горном Конгрессе за Полярным кругом.

– Какие вызовы планируется обсудить в этом году? В чем отличие от предыдущих повесток?

– Одной из основных тем конференции будут перспективы развития горнопромышленного комплекса с учетом освоения новых месторождений (редкоземельных металлов, литиевые проекты), а также планов по газификации региона. Так как это даст толчок к созданию производств по переработке твердых полезных ископаемых внутри региона и перестраиванию логистических путей с учетом развития Северного морского пути (СМП).

Продолжается адаптация горнопромышленного комплекса к геополитическим переменам. Если предыдущие пару лет волновали вопросы логистики, то в настоящее время с учетом усиления санкций идет уже осознанный поиск партнеров внутри страны, на Востоке и в Азии, в связи с чем ожидается еще больший интерес со стороны российских и восточно-азиатских производителей техники и технологического оборудования.

Задачи по цифровизации, в том числе по переходу на отечественные продукты, и задачи кадрового обеспечения в условиях жесткой конкуренции также остаются в повестке конференции – здесь очень важны диалог бизнеса, науки и образования, синхронизация их деятельности, поиск новых решений, которые будут интересны современной молодежи.

И с учетом налоговой реформы в рамках диалога бизнеса и власти будут затронуты вопросы инвестиционной политики, приоритетов государственной поддержки в сфере горнопромышленного комплекса Арктической зоны РФ.

– Какие горизонты развития горнопромышленного комплекса арктической зоны РФ в поле зрения организаторов конференции?

– Традиционно рассматриваются и стратегические, и тактические вопросы развития.

Когда речь идет об освоении новых месторождений или планов по газификации региона – конечно, это 10 лет и более.

Другая основная цель организации МГПК БАЭП – выработка тактики в осуществлении сформированных проектов в области добычи твердых полезных ископаемых и их переработки, связанной с оптимальностью и донстройкой таких процессов, увеличением сроков эксплуатации месторождений. А это можно решать лишь на площадке, максимально приближенной к производственным процессам. Такой площадкой как раз и является Кольский полуостров. А раз решения тактические, то и горизонты планирования максимально сжатые – от одного до трех лет.

– Есть ли параллели развития горнопромышленной отрасли и моногородов, жители которых обеспечивают это развитие?

– Безусловно есть. Социальная ответственность горнопромышленных компаний и их тесное сотрудничество с правительством Мурманской области приносят ощутимые результаты в улучшении условий жизни в моногородах нашего региона. Активное участие в конференции МГПК БАЭП принимают не только правительство Мурманской области, но и представители муниципальных образований, причем не только Мурманской области. При этом одни муниципальные делегации на этой площадке более объективно видят развитие области своих моногородов, другие перенимают опыт эффективного развития и диверсификации.

– Насколько новые инвестиционные проекты, такие, например, как реализация инвестиционного проекта по освоению Африкандовского месторождения перовскито-титаномагнетитовых руд, ориентированы на сохранение экологического баланса Мурманской области?

– Любой из крупных проектов, будь то разработка недр, формирование обрабатывающих производств, связанная с этими процессами логистика, влияет на состояние окружа-

ющей среды. В арктических зонах эти процессы имеют долгие сроки восстановления экоравновесия. Поэтому одной из важных тем, затрагиваемых в конференциальных мероприятиях, – создание таких технологий и внедрение в производственные циклы такого оборудования, которые отвечают самым высоким экологическим стандартам. А может быть и разработка новых стандартов, еще более экологически безопасных, чем современные стандарты. В первую очередь разговор идет о вновь создаваемых предприятиях по добыче и переработке титаномагнетитов, лития, кобальта и платины.

– В чем основные задачи, стоящие перед горной отраслью в областях ротации оборудования и техники, импортозамещения, цифровизации производства?

– В настоящее время горная отрасль РФ определяется со многими целевыми задачами, от решения которых зависит эффективность развития. При этом решения для вновь создаваемых горных производств могут существенно отличаться от действующих. Хотя основной вектор объединяет всех – это повышение производительности труда за счет новых технологий, роботизации, ротации горного и обрабатывающего оборудования. От подбора технологий, создаваемых российской наукой, машин и механизмов, созданных предприятиями российской индустрии, в том числе на совместных предприятиях дружественных государств из ШОС и БРИКС, будет зависеть российский технологический суверенитет. Продуманность всех цепочек этого цикла – от добычи до логистики и продажи – будет основой технологического суверенитета.

– Как Вы оцениваете вклад в продвижение решений конференции таких структур и организаций, как Высший горный совет НП «Горнопромышленники России», ТПП РФ?

– Поддержка МГПК БАЭП со стороны всех уровней власти, патронирование Кольской площадки ТПП РФ и, безусловно, непосредственное участие в процессах подготовки конференции Высшего горного Совета РФ – формируют общий интерес государства, науки, образования и горнопромышленников к работе в арктической зоне РФ. И что особенно значимо, подчеркивают прикладной характер МГПК, связанный с вовлеченностью в процесс РАН.

– Является ли кадровая проблема при нынешнем уровне образования по горным специальностям надуманной, как Вы думаете?

– Подготовка кадров, если мы говорим о специалистах добывающих секторов экономики, требует создания прикладных условий для обучения этим специальностям. Предприятия по добыче и переработке твердых полезных ископаемых нуждаются в таких специалистах, но, к сожалению, не каждый собственник понимает важность участия в этом процессе, и не только из финансовых соображений. К счастью, у большинства предприятий сырьевого сектора, работающих в АЗРФ есть целевые программы подготовки инженерно-технических кадров, разработанные совместно с образовательными учреждениями, имеющими неплохой опыт в этом направлении. Об этом и многих других аспектах подготовки специалистов идут дискуссии на конференциальных площадках МГПК БАЭП.

III МЕЖДУНАРОДНАЯ ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
БАРЕНЦ-АРКТИЧЕСКОЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО

Кировск, Мурманская область, 14-15 ноября 2024 г.

ОРГАНИЗАТОРЫ
 Правительство Мурманской области
 ТПП РФ
 ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ
 ФИЦ КНЦ РАН
 ГОРНОПРОМЫШЛЕННИКИ РОССИИ

ГЕНЕРАЛЬНЫЕ СПОНСОРЫ
 ФОСАГРО
 СУЭК
 Северсталь
 АКРОН
 КОЛЬСКАЯ АЭС
 РОСАТОМ

МЕДИА-ПАРТНЕРЫ
 Журнал Горная Промышленность 30 лет
 ГОРНЫЙ КОДЕКС

16+

#насверезжить #toliveinthanorth



Стабильность работы оборудования – залог безопасности производства

АО «НИИПП» – одно из ведущих предприятий Госкорпорации «Ростех». На его производственных площадках используется современное оборудование. Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов основан в Томске в 1964 г., а в 1967 г. на его базе заработал завод по серийному выпуску полупроводниковых приборов. Начинаясь как научный институт, НИИПП и в настоящее время работает с ведущими вузами Томска. В институте налажен полный цикл, начиная с разработки и заканчивая выпуском готовых изделий. Предприятие изготавливает продукцию для ВПК и радиоэлектронную продукцию гражданского назначения.

Реле защиты электроустановок (РКЗ, РКЗМ, РКДМ, РКД) производства АО «НИИПП» успешно функционируют в России и других странах абсолютно во всех сферах промышленного производства на всех устройствах, где используется трёхфазное питание. Причём оно прекрасно стыкуется с любым как отечественным, так и импортным оборудованием, работающим на частоте 50 Гц. Устройства релейной защиты сертифицированы, имеют декларацию о соответствии Евразийского экономического союза.

Отключение электроустановок возможно в следующих аварийных ситуациях:

- перегрузка по току недопустимой продолжительности;
- недогрузка по току;
- недопустимый перекос фаз по току;
- обрыв любой фазы;
- короткое замыкание (реализовано в РКДМ и РКД);
- превышение напряжения заданного значения (реализовано в РКД);
- снижение напряжения меньше заданного значения (реализовано в РКД);
- появление сигнала («сухой контакт») на одном из двух дискретных входов (реализовано в РКД).

Мы предлагаем устройства четырех типов на выбор для решения ваших проблем. Гарантийный срок эксплуатации – 5 лет. Своей простотой и малым количеством компонентов, которые в принципе могут быть подвержены поломкам, РКЗ производства АО «НИИПП» заслужили прочную репутацию надёжного устройства по конкурентоспособной цене, служащего долгие годы. Сменить это оборудование вас заставит разве что модернизация, ведь производитель не стоит на месте.

Уже успели по достоинству оценить качество вышеупомянутых реле контроля и защиты такие предприятия, как Томский электромеханический завод имени В.В. Вахрушева, ПАО «Распадская», предприятия холдинга «СИБУР», российские горно-металлургические компании, обогатительные фабрики, а также многие другие.

И к вопросу о модернизации. Это тот редкий случай, когда прогресс идёт по пути упрощения за счёт совершенствования ЭКБ и технологий производства. Например, выводной монтаж заменён на поверхностный. Уменьшается брак, возрастает надёжность за счёт того, что элементов на плате стало меньше. При этом оборудование становится всё более многофункциональным. Если раньше оно могло показать, что сбой в работе сети произошёл, то в настоящее время с РКЗ можно снять показание, какая конкретно ошибка была и на какой фазе.

К тому же сам по себе бренд НИИПП является гарантией качества: предприятие имеет почти 25-летний опыт изготовления и поставок устройств релейной защиты. Отработанная конструкция и налаженное производство обеспечивают надёжность в эксплуатации и невысокую цену. И объёмы продолжают расти. Несмотря на развитие в нашей стране движения по импортозамещению, в России достаточно немного предприятий, предлагающих аналогичную продукцию. Так что количество выпущенных реле и, соответственно, объёмы продаж постоянно растут. В АО «НИИПП» уже сейчас уверенно прогнозируют трехкратное увеличение этих двух показателей по сравнению с прошлым годом. И вряд ли какое-либо досадное обстоятельство помешает этому: подавляющее большинство комплектующих для производства реле – отечественного производства.

Остаётся сказать, что большой склад готовой продукции АО «НИИПП» позволяет осуществлять доставку в любую точку РФ в кратчайшие сроки.

Предоставляем бесплатные образцы для тестирования. Гибкая ценовая политика и индивидуальный подход к каждому заказчику дают предприятию возможность оставаться надёжным поставщиком и сотрудничать на долгосрочных взаимовыгодных условиях.

На сайте niipr.ru можно ознакомиться с техническими характеристиками и полным описанием работы устройств релейной защиты. Ваши вопросы и пожелания принимаются по телефону отдела продаж: +7 3822 288-447.



Релейная защита

От одного из ведущих производителей электронной промышленности РФ

Реле контроля и защиты

от 5 до 500 А

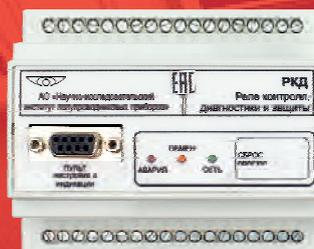
диапазон контролируемых токов
(в зависимости от модификации)



Реле контроля и диагностики

от 0,3 до 4000 А

диапазон контролируемых токов
(в зависимости от модификации)



Для защиты в цепях питания трехфазных электроустановок



Проверенное качество



Товар сертифицирован



Готовые изделия со склада с доставкой по всей России



Отечественное производство



Гибкая ценовая политика и индивидуальный подход к каждому заказчику



Гарантия 5 лет

16+ РЕКЛАМА

Ваш персональный менеджер

Харламова Анна

+7 (3822) 288-447
rkz@niipp.ru

АО «НИИПП», Россия, г. Томск
ул. Красноармейская, 99а



shop.niipp.ru

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ: ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО РАЗВИТИЯ

Существует два основных способа добычи полезных ископаемых – открытый и подземный. Открытый вариант обычно удобнее, финансово выгоднее и в разы эффективнее, чем подземная добыча. В России таким образом получают до 90% руд черных и цветных металлов и почти все строительные материалы.

Но активное потребление ресурсов постепенно ведет к тому, что богатые и удобные для добычи месторождения заканчиваются и добывающие компании вынуждены уходить в более бедные, более сложные месторождения. Таким образом, подземная добыча становится одним из перспективных направлений добычи.

Месторождения с меньшим содержанием полезных элементов заставляют горные компании повышать производительность, тем самым компенсируя низкую эффективность. Это, в свою очередь, перерастает в необходимость применения более производительного и эффективного оборудования.

Компания DEKREE уже много лет является надёжным поставщиком оборудования для горно-обогатительных предприятий. Помимо собственных разработок, мы также активно сотрудничаем и со смежными организациями и продвигаем новые технологии в наших проектах.

Так, например, мы совместно с институтом развития умных технологий в горном деле «Qingdao Ruineng» пробуем продвигать на российский рынок подземные погрузочно-доставочные машины (ПДМ), самосвалы и сервисную технику на электрическом ходу, но не с традиционным кабельным барабаном, а на сменных аккумуляторных (литий-ионных) блоках. Qingdao Ruineng имеет богатый опыт разработки подземной техники, когда-то еще в 1980-е годы, профессор Фэн, ныне глава компании, был одним из первых в Китае разработчиков этой техники, тогда еще дизельной, потом и электрической, а сейчас уже и с дистанционным управлением и даже с искусственным интеллектом.

Условия подземной добычи полезных ископаемых

Главными проблемами, с которыми сталкиваются шахтеры, являются серьезное загрязнение подземной атмосферы от двигателей внутреннего сгорания и слишком высокие для работы персонала температуры в шахтах. При спуске на каждые последующие сто метров температура почвы повышается примерно на 2,5°C. На глубине 1000 м под землей температура достигает 42°C, а иногда даже 50°C. В таких условиях работа становится очень трудной.

В Китае глубина шахт достигает километра, но в Канаде и Южной Африке уже имеются шахты глубиной 3000–4000 м. Выработка самой глубокой шахты в России ведется на 1500 м. Тенденция к углублению связана именно с постепенным опустошением выпележащих залежей. Здесь остро встает проблема высоких температур, и в настоящее время не существует действительно хороших вариантов её решения. Традиционно пытаются увеличивать объем вентиля-

ции. С помощью огромных вентиляторов извлекается отработанный воздух из подземных помещений и выдувается на поверхность, на его место поступает большое количество свежего воздуха. Но технология вентиляции такими крупногабаритными вентиляторами уже на глубине 1000 м очень сложна, а ее себестоимость чрезвычайно высока. Это является большой проблемой подземной добычи в настоящее время и будет оставаться таковой и в будущем. Применение электрической техники позволяет в разы понизить тепловыделение в сравнении с дизельными приводами.

Электрификация как способ решения проблемы загрязнения подземной среды

Идея замены дизельных двигателей на электрические появилась еще в 1980-е годы. Но общий уровень промышленности не дал технологии быстро шагнуть вперед. Тогда электрификация производилась при помощи электрических кабелей, что делало её ограниченной и неудобной. Транспорт мог перемещаться всего в пределах 100 м. С развитием электрических автомобилей появились и возможности для электрификации безрельсового оборудования в подземных условиях. За последние десять лет Китай вышел на первое место в мире по производству аккумуляторов, а китайские электродвигатели входят в число лучших в мире. В 2013 г. начались первые попытки заменить дизельное оборудование на электрическое в подземных условиях. Результат превзошёл ожидания – электрификация позволила достичь почти нулевого уровня загрязнения и практически нулевого тепловыделения. Фактически китайские специалисты вышли на полноценное решение проблемы, в настоящее время при производстве подземной техники используются литий-ионные аккумуляторы.

Компания DEKREE активно поддерживает и продвигает идею подземной добычи, мы также отслеживаем развитие технологии натрий-ионных аккумуляторов и возможности использования водородных источников энергии.

Qingdao Ruineng также позиционирует себя как борца за защиту окружающей среды, но, помимо электрификации, ее эксперты также занимаются и интеллектуализацией оборудования, что неизбежно ведёт к повышению эффективности добычи.

Как один из этапов «озеленения» технологии подземной добычи – это замена у действующих машин дизельного привода на электрический, но тут тоже есть свои особенности, разработка проектной документации и проведение тестовых испытаний отнимают много времени и средств, поэтому такие обновления интересны только при большом автопарке с минимальным ассортиментом машин.



Интеллектуализация оборудования и концепция «зеленого» развития

Ранее крайне мало было подземной техники на электрическом ходу, из-за суровых условий работы использовалась в основном техника на дизельном ходу с коробками передач. С развитием электрических автомобилей и технологий интеграции автоматизации, с развитием микропроцессоров появилась идея внедрить данные технологии под землей. Простыми словами – преобразовать технику для подземных работ в «цифровой терминал». Для достижения этой цели на технику устанавливаются необходимые датчики, устанавливаются сетевые системы для передачи данных. Разработанные алгоритмы позволяют превратить транспортное средство в полностью интеллектуальное устройство, с самым различным функционалом, вплоть до реализации автономного движения.

Промышленный сектор в целом тяготеет к «зеленому» развитию, а электрификация наряду с интеллектуализацией оборудования помогает решить задачу не просто минимизации, а полного устранения источников загрязнения подземной среды. Чтобы превратить подземную среду в здоровую экологическую среду, необходимо полагаться на новые источники энергии.

«Новые источники энергии» можно рассматривать как целое понятие. Под ним обычно понимают использование литий-ионных аккумуляторов, или применение электрических технологий. Эти источники энергии существуют уже давно, но переосмысление их сущности позволило дать им обозначение «новых». В мире также применяют понятие «альтернативная энергия».

В будущем будет развиваться применение водородной энергии и других источников энергии. Большое количество институтов и исследовательских организаций уже занимаются изучением новых технологий, таких как использование

алмазов в качестве материала для аккумуляторов, срок службы которых достигает 1500 лет. Это очень интересное направление. Один университет в США уже коммерциализировал маломасштабную ядерную энергию, то есть портативную ядерную технологию, что даёт большие надежды на будущее.

Будущее – за поставками специального оборудования из Китая

Мы полностью солидарны с китайскими коллегами из Ruineng в том, что в ближайшие 10–15 лет электрическая техника полностью заменит дизельную. Многие российские добывающие компании хотели бы пойти по этому пути, но их останавливает сложность входа в электрификацию. Мы готовы совместно с заинтересованными клиентами разрабатывать комплексные решения электрификации и интеллектуализации подземной добычи.

Замена европейской, американской техники на китайскую, помимо снижения капиталовложений и упрощения логистических вопросов, позволяет отказаться от поставок европейских деталей, что в условиях современных санкций также немаловажно.

В отличие от многих производителей и поставщиков горнодобывающего оборудования DEKREE готова вкладывать собственные средства в долгосрочное сотрудничество, готова организовывать сервисные центры и склады ЗИП, мы искренне готовы совершенствовать свою продукцию и понимаем, что именно за «зелёным» направлением развития отрасли стоит будущее.



<https://dekree.ru>
<https://t.me/dekreegroup>

Итоги конференции взрывников Урала, состоявшейся на площадке компании ООО «ЮЖУРАЛВЗРЫВПРОМ»

Г.П. Берсенёв, канд. техн. наук, генеральный директор Ассоциации «Взрывники Урала», Заслуженный строитель РФ, старший научный сотрудник ИГД УрО РАН

В.А. Кутуев, научный сотрудник ИГД УрО РАН

В.А. Воробьев, директор ООО «ЮУВП»

И.В. Воробьев, коммерческий директор ООО «ЮУВП»

5–6 июня 2024 г. состоялась очередная выездная научно-практическая конференция специалистов взрывного дела «Технология и безопасность взрывных работ», организованная Ассоциацией «Взрывники Урала» и Институтом горного дела УрО РАН (ИГД УрО РАН). Местом проведения стала площадка предприятия ООО «ЮжУралВзрывпром» (ООО «ЮУВП») в Челябинске.

Первый день конференции (5 июня 2024 г.)

Открыли конференцию директор предприятия ООО «ЮУВП» **Василий Анатольевич Воробьев** и генеральный директор Ассоциации «Взрывники Урала» **Геннадий Порфирьевич Берсенёв**. В.А. Воробьев сердечно приветствовал гостей, проанонсировал очередность докладчиков и порядок событий предстоящего мероприятия.

Участникам конференции был продемонстрирован видеоролик о компании ООО «ЮУВП», прокомментированный **Василием Анатольевичем**. Компания «ЮУВП», организованная 15 лет назад, ведет свою деятельность на территории четырех субъектов РФ. Годовой объем взорванной горной массы превышает 10 млн т. Одно из подразделений занимается складским хранением, производством и реализацией промышленных взрывчатых веществ. Территория одного из крупнейших и современных складов взрывчатых веществ на Урале позволяет разместить до 500 т ВМ и дополнительно до 1000 т селитры в крытом ангаре. В год производится более 9000 т гранулированных и эмульсионных ВВ. Хранение такого большого запаса ВМ – гарантия бесперебойного ведения БВР независимо от сложностей с поставкой ВМ. Собственная лаборатория и оборудованный полигон позволяют контролировать качество поступающей и производимой продукции.

Большое внимание на предприятии уделяется разделке негабарита только современными и проверенными методами. Парк организации насчитывает более 25 экскаваторов.

Наличие собственной маркшейдерской службы, оснащенной современным оборудованием и программным обеспечением, является еще одной отличительной чертой компании и позволяет контролировать производимые работы. Особое внимание в ООО «ЮУВП» уделяется безопасности, совершенствованию технологий и аналитике ведения БВР. Все этапы работ, включая отпуск ВМ со склада, зарядку скважин, монтаж и проведение взрывных работ, фиксируются на видео, а затем тщательно анализируются. Благодаря такому многоступенчатому контролю в ООО «ЮУВП» обеспечивается высокое качество БВР.

ООО «ЮУВП» постоянно совершенствует применяемые в БВР технологии. Так, с 2022 г. активно используются современные электронные системы инициирования. Проведение взрывных работ с использованием электронных детонаторов улучшает

ет фрагментацию в результате взрыва, а также уменьшает воздействие сейсмических волн от производства взрывных работ.

ООО «ЮУВП» особое внимание уделяет подготовке специалистов. На предприятии ежегодно проходят производственную и преддипломную практику студенты Уральского государственного горного университета. Регулярно проводятся обучающие семинары для специалистов компании, в том числе с использованием самостоятельно разработанных образовательных материалов.

Ашаев Андрей Александрович, генеральный директор ООО «МеталИнвест» (дочернее предприятие ООО «Протол»), коротко рассказал об истории развития компаний. В 2023 г. компания ООО «Протол» отметила 10-летний юбилей.

Специализированные предприятия буровзрывных работ ООО «Протол» и ООО «МеталИнвест» выполняют полный комплекс БВР на открытых разработках объектов в Свердловской, Челябинской, Оренбургской, Курганской областях и в Республике Башкортостан. В начале производственной деятельности организация арендовала производственную площадку на территории Калиновского химического завода под хранение ВМ, приобретаемых для производства взрывных работ.

В 2019 г. приобретена территория склада и здания хранилищ, использующихся ранее для хранения пиротехнических изделий (г. Дегтярск, Свердловской обл.). Проведены проектные работы по реконструкции склада ВМ, который в марте 2020 г. зарегистрирован как опасный производственный объект: Склад ВМ ООО «МеталИнвест» с емкостью хранилищ 323,9 т эквивалентных ВВ и 20 т аммиачной селитры, площадью – 9,56 га.

На отдельной территории площадью 0,12 га размещены:

- стационарный пункт производства промышленных ВВ (СПП ВВ) «Протолит Н и Д», предназначенных для импульсной обработки и сварки различных металлов (сталь, медь, латунь, титан, алюминий и др.) с годовой производительностью при односменной работе – 200,0 т ВВ;

- модульная технологическая линия (МТЛ) для изготовления детонаторов эмульсионных промежуточных универсальных ДЭПУВВ – М с максимальной годовой производительностью – 3500 т/год, состоящая из блок-контейнеров, внутри которых расположено технологическое оборудование, предназначенное



Награждение активных участников Ассоциации

для изготовления и временного хранения ДЭПУВВ – М, а также навес для размещения еврокуба с эмульсионной матрицей и биг-бэга (мягкими контейнерами) с микросферой.

С октября 2022 г. компания «Протол» официально открыла новое для себя направление – производство смазочных материалов под собственным брендом ProtoI, основанное на технологии классического блендинга базовых масел высокого качества и сбалансированных пакетов присадок нового поколения. Сегодня «Протол» выпускает широкий ассортимент масел для коммерческого транспорта, дорожно-строительной техники для промышленных потребителей в различных отраслях промышленности, особенно в условиях работы Крайнего Севера, а также для применения внутри компании на буровых установках, в компрессорах, смесительно-зарядных машинах, доставщиках и при изготовлении эмульсионной матрицы.

Таким образом, территория ОПО «Поверхностный склад ВМ» используется многопланово, экономически рационально и с полной гарантией обеспечения безопасности, что эффективно отражается на деятельности группы компаний «Протол» и надежности стратегического партнерства с заказчиками.

Берсенёв Геннадий Порфирьевич, канд. техн. наук, генеральный директор Ассоциации «Взрывники Урала»:

– Ассоциация «Взрывники Урала» почти 15 лет проводит семинары и конференции, по итогам которых выпущено полтора десятка различных изданий. Цель данных научно-производственных мероприятий – распространение информации, способствующей повышению технологии, безопасности, эффективности и производительности труда на горных предприятиях. В составе Ассоциации более 30 предприятий, часть из которых активно включена в работу. Сейчас особенно трудно работать с предприятиями взрывного дела в связи с СВО, поэтому хочется особо отметить компанию ООО «ЮУВП», на площадке которой взрывники собираются уже третий раз.

Сегодня федеральные службы надзора недостаточно внимательно относятся к запросам взрывников. На местах производства работ большие нарушения, которые могут привести к тяжелым последствиям. Ассоциация старается восполнить недостаток информации, поэтому в текущем году мы выпустили уже 13-й по счету ежегодный сборник статей «Технология и безопасность взрывных работ», где собираем и публикуем интересные и полезные для горняков статьи.

Завершил Геннадий Порфирьевич свое выступление награждением Почетными грамотами за активное участие и помощь в

работе Ассоциации «Взрывники Урала» и в совершенствовании БВР на Урале. Награды получили: **Воробьев Василий Анатольевич** и **Петров Константин Михайлович**, директор и технический директор ООО «ЮУВП»; **Лыткин Максим Николаевич** и **Степаненко Александр Владимирович**, заместители директора по вопросам обеспечения производства и по производству ООО «ЮУВП»; **Поникаров Дмитрий Юрьевич**, начальник ПТО ООО «ЮУВП» и **Литвин Алексей Анатольевич**, директор ООО «Уральский ВзрывПром».

Ворсин Валерий Андреевич, генеральный директор ООО «Силикат-Инжиниринг», рассказал о твердотопливных газогенераторах и возможностях их применения в условиях тесной городской застройки, в т.ч. на работающих (без остановки) объектах. Принцип действия газогенераторов основан на фугасном действии газов, получаемых при высокоскоростном сгорании порошкового состава (конвективное горение) и создании необходимого давления в шпуре. Необходимая скорость сгорания смеси обусловлена созданием условий замкнутого пространства, которые создают нужное давление в момент иницирования и, как следствие, условия для перехода горения в конвективный режим. На открытом пространстве при штатном воспламенении изделия высокоскоростное горение не развивают.

Большое преимущество технологии в том, что газогенератор не является ВВ, следовательно, не нужно получать разрешение на производство взрывных работ. Докладчик перечислил ряд объектов с успешным применением твердотопливных газогенераторов при обрушении зданий, дроблении декоративного камня и горных пород. Однако при всех преимуществах газогенераторы пока не нашли широкого распространения из-за большой себестоимости их применения.

В своем докладе **Реготунов Андрей Сергеевич**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник ИГД УрО РАН, рассказал о достигнутых значительных результатах, полученных сотрудниками Лаборатории разрушения горных пород при выполнении Государственного задания по трем этапам Темы 1: *Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем* в течение 2022–2024 гг., под руководством чл.-корр. РАН, д-ра техн. наук, профессора, Советника РАН **Виктора Леонтьевича Яковлева**.

В ходе исследований сотрудники Лаборатории разрушения горных пород ИГД УрО РАН в 2022 г. разработали методику измерения энергетических, детонационных характеристик эмульсионных ВВ и экспресс-определения показателей шаро-

печного бурения. На втором этапе в 2023 г. получены по ранее разработанным методикам и обобщены экспериментальные данные о сейсмических колебаниях в ближней зоне взрыва, показателях шарошечного бурения взрывных скважин, детонационных характеристиках ЭВВ в зависимости от плотности заряжения при различных диаметрах заряда ВВ. Проведен анализ влияния сенсбилизации стеклянными микросферами ЭВВ на изменение плотности ЭВВ и массы ПД на скорость детонации скважинных зарядов ВВ. Сформулированы основные положения комплексной методики адаптации параметров БВР к изменяющимся горно-геологическим условиям в динамике развития горных работ.

На завершающем 3-м этапе выполнения НИР по Государственному заданию в 2024 г. на ряде уральских карьеров апробируются основные положения комплексной методики. На настоящий момент подтверждена эффективность и доказана необходимость применения способа уточнения прочностных и структурных свойств массива горных пород с использованием шарошечного бурения взрывных скважин в условиях месторождения хризотил-асбеста. Продолжается апробация методики расчета в зависимости от прочности и неоднородности массива горных пород конструкций зарядов ВВ, выбора поверхностной сети инициирования, порядка инициирования промежуточных детонаторов в скважинах, обоснования параметров БВР для экранирования взрывов в приконтурной зоне с учетом безопасных расстояний по сейсмическому, ударно-воздушному воздействию взрывов и разлету кусков взорванной породы.

Доможиров Дмитрий Викторович, д-р техн. наук, доцент кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», ознакомил слушателей с научными разработками Магнитогорского государственного технического университета (МГТУ) по совершенствованию технологии взрывных работ.

Тенденция открытой геотехнологии последних лет направлена на получение недропользователем максимальной прибыли от реализации широкого спектра видов и ассортимента товарной продукции с заданными потребительскими и технологическими свойствами. Однако наряду с повышением требований потребителей к качеству товарной продукции наблюдается неизбежное усложнение горно-геологических условий. Поэтому главную роль при добыче минерального сырья играет выбор технологий.

Для управления качеством минерального сырья в условиях сложноструктурных месторождений на стадии подготовки пород к выемке необходимо на этапе геологической разведки осуществлять районирование карьерного поля по показателю качества породы RQD, а при эксплуатационной разведке уточнять и корректировать геологическую модель по коэффициенту трещиноватости, сложности залежи и частоте включений.

Предложенная МГТУ методика районирования месторождения по критерию качества товарной продукции основана на учете текстурно-структурных характеристик (трещиноватости), физико-механических свойств (крепости) и требований к качеству (наличие вредных включений), обеспечивает повышение комплексности освоения запасов месторождений за счет обоснования технологии подготовки и параметров БВР с учетом показателей буримости и взрываемости.

Кроме этого, учеными МГТУ разработан алгоритм выбора технологии подготовки пород к выемке с учетом вида полезного ископаемого, текстурно-структурных особенностей и наличия вредных включений, позволяющий на этапе проектирования определять оптимальные параметры при выборе горного оборудования.

Меньшиков Павел Владимирович, научный сотрудник

Лаборатории разрушения горных пород ИГД УрО РАН, изучил взаимосвязь детонационного давления и скорости детонации промышленных эмульсионных ВВ, применяемых на карьерах Урала.

На основании проведенных инструментальных замеров скорости детонации ЭВВ «Фортис», «Нитронит» и «Порэмит-1А» установлены прямые расчетные зависимости между скоростью детонации и основными детонационными и энергетическими характеристиками, которые показывают отчетливую прямую взаимосвязь через степенные функции между детонационным давлением и скоростью детонации ЭВВ по расчетной формуле детонационного давления в точке Чепмена-Жуге. Также установлены зависимости массовой скорости газообразных продуктов взрыва от скорости детонации и плотности для промышленных ЭВВ, применяемых на карьерах Уральского региона.

Чернухин Станислав Алексеевич, канд. техн. наук, ведущий специалист ООО «Давтех», представил разработку предприятия – прибор ПАК ГРАВИКС, предназначенный для оценки гранулометрического состава в развале.

Измерение гранулометрического состава преследует одну из двух основных целей: проверка соответствия крупности продукта установленным требованиям или контроль изменения размерных характеристик продукта для управления технологическим процессом добычи полезных ископаемых.

В ПАК способ установления гранулометрического состава производится посредством стереоскопической камеры. На основе полученного стереоизображения строят объемный рельеф поверхности развала, с применением алгоритма машинного обучения определяют геометрические параметры фрагментов и гранулометрический состав развала взорванной горной породы.

Это дает возможность оперативно вносить корректировки в технологические параметры БВР, за счет чего повышается эффективность взрывов. Повышение эффективности БВР увеличивает производительность экскаваторно-автомобильного комплекса в карьере, исключает дополнительные затраты на вторичное дробление и снижает аварийные отказы экскаваторного парка, тем самым сокращаются финансовые затраты на содержание и обслуживание этих машин. В конечном итоге увеличивается производительность и снижаются финансовые затраты горнодобывающего предприятия в целом.

Емельянов Павел Викторович, технический специалист ООО «Азоттех», изложил преимущества и недостатки применения электронных систем инициирования (ЭСИ) «NITRONIC» (Южная Корея) при производстве БВР.

В последнее время горнорудные предприятия страны интенсивно осваивают технологию взрывных работ с использованием ЭСИ. ЭСИ Nitronic позволяет программировать время задержания зарядов в скважине от 0 до 50000 мс с шагом 1 мс и точностью срабатывания заданного замедления 0,02%. Это дает возможность максимального снижения при проведении массового взрыва уровня сейсмического воздействия, ударно-воздушной волны, значительного сокращения выброса вредных продуктов взрывов, а также позволяет контролировать гранулометрический состав взорванной горной массы.

Павел Викторович на схеме объяснил принцип действия ЭСИ «NITRONIC», показал на примере порядок работы с элементами системы и производство взрыва с помощью ЭСИ, продемонстрировал (на схеме) как происходит дистанционное инициирование на расстоянии до 5 км по прямой. Много вопросов от слушателей было по поводу критичности системы к низким (зимним) и аномально высоким (летним) температурам, а также к другим климатическим условиям Урала. Павел Викторович ответил на все самые «каверзные» вопросы участников, подроб-



Участники конференции Взрывников Урала

но остановился на порядке действий в штатных и нештатных ситуациях. Поскольку собралась профессиональная аудитория, докладчику пришлось отвечать со всей возможной тщательностью и техническими подробностями.

Прокомментировал выступление представителя ООО «Азоттех» В.А. Воробьев: – Нужно принять как неизбежность, что будущее за ЭСИ. Взрывы при таком способе регулируемые, плавные и мягкие. Китай уже сегодня взрывает только электроникой и в больших объемах.

В продолжение доклада Емельянова П.В. **Поникаров Дмитрий Юрьевич**, начальник ПТО ООО «ЮУВП», в своем сообщении сравнил преимущества и недостатки двух систем электронной инициации – чешского и корейского производства, как специалист, применявший обе системы на практике.

Рассказал о проведении испытаний на карьерах по улучшению фракционного состава взорванной горной массы, суть которых в переходе от большого диаметра бурения скважин на более малый, с 220 на 130 мм. Результаты испытаний показали, что затраты на бурение станками малого диаметра оказались больше, но качество дробления горной массы выше, выход негабаритных кусков снизился на 2%.

Достоинством перехода от большого диаметра к малому является увеличение степени дробления и коэффициента разрыхления горной массы в забое, сокращение удельного сопротивления пород черпанию и повышение эффективности работы экскаваторов, существенное снижение затрат на обслуживание горного оборудования, экскавацию горной массы и переработку ее на стадии крупного дробления на ДСФ.

В 2022 г. на объектах ООО «ЮжУралВзрывпром» прошли приемочные испытания, и с тех пор активно применяется промышленное взрывчатое вещество марки «ЭВМ-100» (ТУ 20.51.11-004-32253607-2021, изготовитель – ООО «Уральский Взрывпром»), производимое в смесительно-зарядной машине типа «МЗВ-16» в производственных условиях открытых горных работ. ВВ марки «ЭВМ-100» зарекомендовали себя как надежные, эффективные и безопасные в применении.

Второй день конференции (6 июня 2024 г.)

В заключительный день конференции ООО «ЮУВП» организовал поездку участников конференции на постоянный базисный склад ВМ, где гостям представили образцовое складское хозяйство, а также продемонстрировали технологию изготовления простейших ВВ гранулитов на установке конструкции НТФ «Взрывтехнология» (г. Москва, руководитель Кантор Вениамин Хаимович). На той же площадке находятся центр

ремонта зарядной техники, маркшейдерская служба, бухгалтерия, общежитие (гостиница) для водителей спецавтотехники и др. Благодаря четко организованной работе любая отгрузка ВВ со склада вместе с оформлением занимает не более 30 минут.

В заключение конференции на Тимофеевском карьере участники мероприятия смогли наблюдать успешный массовый взрыв с применением вышеуказанной ЭСИ «НITRONIC».

Результаты и решения конференции

По завершении участники отметили высокий уровень организации и проведения конференции, выразив благодарность компании ООО «ЮУВП» за теплый, радушный приём и предложили чаще собираться на мероприятиях подобного формата для обмена опытом и обсуждения производственных вопросов.

Проведенная конференция выполнила намеченные цели – пополнила знания специалистов взрывного дела Урала и других регионов страны новой информацией и послужила дальнейшему сближению взрывников науки и производства. Дала возможность ознакомиться с новой южнокорейской электронной системой инициирования («НITRONIC») массовых взрывов на карьерах.

Ассоциации взрывников и институтам (ИГД УрО РАН, УГГУ, МГТУ) – обобщить опыт применения электронных систем инициирования, применяемых ООО «АВТ-Урал» (г. Качканар), ООО «ЮУВП» (г. Челябинск), АО «Святогор» (г. Красноуральск) и расширить сферу их внедрения на уральских объектах.

Ассоциации «Взрывники Урала» совместно с ИГД УрО РАН провести в четвертом квартале 2024 г. научно-производственный семинар на площадке Качканарского ГОКа с основной тематикой по технологии применения новых систем инициирования.

Результаты прошедшей научно-производственной конференции по буровзрывным работам традиционно будут опубликованы Ассоциацией «Взрывники Урала» в ведущих научно-технических журналах Центральной России и Урала – «Горная промышленность» и «Известия вузов. Горный журнал» (III кв. 2024 г.), а статьи участников в ежегодном издании – «Технология и безопасность взрывных работ» в I квартале 2025 г.

Исследования, представленные в докладах научных сотрудников ИГД УрО РАН Реготунова А.С. и Меньшикова П.В., выполнены в рамках Государственного задания №075-00412-22 ПР, темы 1 (2022–2024): Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем (FUWE-2022-0005), рег. №1021062010531-8-1.5.1, а также при дополнительном привлечении хоздоговорных средств.



ВЫСТАВКА «УГОЛЬ РОССИИ И МАЙНИНГ-2024» расширила экспозицию



Фото с сайта www.ugolmining.ru

С 4 по 7 июня 2024 г. в Новокузнецке прошла XXXII Международная специализированная выставка технологий горных разработок «Уголь России и Майнинг».

«Уголь России и Майнинг» – это одно из крупнейших отраслевых событий в горнодобывающей промышленности. За 32 года работы эта площадка стала центром притяжения для производителей и поставщиков современных технологий, оборудования и услуг для решения задач предприятий региона и страны.



Фото с сайта www.ugolmining.ru

Мероприятие прошло под девизом «Шире, чем Кузбасс! Глубже, чем Уголь!» при поддержке министерства энергетики РФ, министерства промышленности и торговли РФ, министерства труда и социальной защиты РФ, МЧС России, НП «Горнопромышленники России», ТПП РФ, Правительства Кузбасса и администрации города Новокузнецка.

В 2024 г. организаторы предоставили дополнительную уличную территорию площадью 12 500 кв. м для размещения экспозиций с тяжелой техникой, а также увеличили выставочную площадь в павильонах на 2500 кв. м. На 85 000 кв. м обо-

рудование, технику и разработки представили 841 компания (в т.ч. 144 кузбасские) из 109 городов Российской Федерации, Республики Беларусь, Казахстана, Китая, Турции, Индии и представительства компаний из Европы и ЮАР.

На новой открытой площадке своими размерами выделялись карьерный самосвал БЕЛАЗ, работающий на сжиженном газе, и новинка – китайский 220-тонный гибридный дизель-электрический карьерный самосвал SANY.

Партнерами и спонсорами выставки выступили ООО «Техстройконтракт», ООО ТД «Завод «Красный якорь», ООО «МегаДрайв», ООО «ЕРТ-Групп», ООО «Завод МДУ»,



Фото с сайта www.ugolmining.ru

АО «Копейский машиностроительный завод», АО «Кузнец-бизнесбанк», ООО «ПИР», ООО «Уральская горнотехническая компания» и ООО «Дис Групп». Генеральный спонсор мероприятия – компания «Энергия Холдинг».

За четыре дня работы выставку посетили 62,5 тысячи специалистов предприятий угольной, машиностроительной, металлургической промышленности и других сфер экономики и производства.

Вместе с экспозицией расширилась и деловая программа, которая по традиции прошла в формате тематических дней: «День генерального директора», «Министерский день», «День технического директора», «День главного механика». На 12 коммуникационных площадках состоялись 79 мероприятий: конференции, заседания, семинары, круглые столы по наиболее актуальным на сегодняшний день темам. Премьерой этого года стала интерактивная сессия «Новые времена – Новые герои». Мероприятие объединило как новых, так и хорошо известных производителей и поставщиков спецтехники, оборудования и услуг для формирования новых промышленных альянсов, решения задач и потребностей горнодобывающих предприятий и отрасли в целом.

В рамках выставки организации Кузбасса и ДНР подписали договор о реализации научно-технической программы полно-

го цикла «Чистый уголь – зеленый Кузбасс» по разработке и созданию автоматизированного очистного комбайна для отработки угольных пластов различной мощности. Проект позволит привлечь 850 млн руб. из федерального бюджета на научные исследования и опытно-конструкторские разработки. Общая сумма договора составляет 1 млрд 700 млн руб.

По итогам работы комиссии традиционного конкурса «Лучший экспонат» им. В.В. Некрасова участникам было вручено 24 золотых медали, 25 серебряных, 30 бронзовых, а также 18 главных наград – Гран-При, 9 из них кузбасским предприятиям.

Альбина Бунеева, директор выставки:

«Уголь России и Майнинг» – это мероприятие с профессиональной историей, которое на протяжении трех десятилетий сохраняет статус главной отраслевой площадки. Мы всегда следовали современным тенденциям и стремились сделать участие в мероприятии эффективным и результативным для всех участников и посетителей. Нам приятно наблюдать расцвет горнодобывающей промышленности, который возможен только при активной работе всех игроков отрасли и их стремлении к диалогу и совместному решению задач».



Алексей Михайлович Орёл,
директор по развитию
ООО НПФ «Гранч»

Участие в выставке «Уголь России и Майнинг» давно стало традицией для нашей компании. Каждый год, приезжая на эту выставку, мы привозим новые разработки, демонстрируем новые возможности для наших программно-аппаратных комплексов, которые успешно работают на

многих угольных шахтах в России. Мы много лет организуем свой стенд в одном и том же месте – павильон 4, стенд напротив главного входа. Нашего участия ждут специалисты и всегда с большим интересом расспрашивают нас о новациях, которые мы подготовили... Да и конкуренты практически всегда пытаются подробно изучить, в каком направлении мы ведем свои разработки, ведь до сих пор наши системы по ряду возможностей опережают все аналогичные решения не только в России, но и в мире. Наши высокотехнологичные системы уже сегодня стоят на наиболее успешных шахтах СУЭК, помогая в организации и обеспечении безопасности работ.

В 2024 г. основным трендом для отрасли подземной угледобычи стало импортозамещение оборудования, особенно это касается высокотехнологичных программно-аппаратных комплексов, обеспечивающих связь, управление оборудованием и безопасность на объектах критической информационной инфраструктуры (все шахты и рудники относятся к объектам КИИ). Согласно указу президента РФ от 23 марта 2022 г. в системах, используемых на объектах КИИ, должны применяться технические средства на базе специализированного программного обеспечения, включенного в реестр МИНЦИФРЫ, и такой переход на российское ПО должен быть завершен



к 1 января 2025 г.! Наши программно-аппаратные комплексы являются именно таким оборудованием, поэтому к ним особенно яркий интерес со стороны заказчиков.

Одной из наиболее интересных разработок от компании ГРАНЧ, представленных в 2024 г., стала новая функция мобильного видеонаблюдения. Мы интегрировали в шахтерский светильник не только радиомодуль, который обеспечивает непрерывную связь каждого шахтера с диспетчерской и непрерывное позиционирование всех работников, находящихся в шахте, но и видеокамеру. И теперь диспетчер может просмотреть видеоизображение с любого шахтерского светильника в режиме онлайн (а не запись с видеорегистратора), получить необходимую информацию о ситуации на месте работы шахтера. Это позволяет оперативно решать производственные задачи в штатном режиме работы шахты, а также обеспечивает дополнительные возможности спасателям ВГСЧ в случае аварии. Это новая возможность, которую сегодня может обеспечить только программно-аппаратный комплекс, производимый в ГРАНЧ на производственных площадках в Новосибирске.

В 2024 г. высокотехнологичный программно-аппаратный комплекс от компании ГРАНЧ получил Гран-При выставки, и это достойная награда для такого оборудования! Дальше – только вперед!



Владимир Сергеевич Ланцов,
Заместитель коммерческого директора
АО «Курганмашзавод»

– АО «Курганмашзавод» (холдинг «Высокоточные комплексы» Госкорпорации Ростех) давно зарекомендовал себя в качестве надежного партнера предприятий горнодобывающей отрасли. Предприятие не первый год представляет на выставке кузнечно-литейную продукцию для горнообработывающей отрасли и переработки. Это комплектующие и расходные элементы для дробильно-размольного оборудования и карьерной техники. Зубья ковшей экскаватора производства АО «Курганмашзавод» традиционно пользуются большим спросом у потребителей продукции и вызывают интерес посетителей стенда. Предприятие серийно выпускает три модификации сменных режущих элементов для ковшей карьерных экскаваторов типа ЭКГ-5, ЭКГ-8, ЭКГ-10. Для их производства используется особо прочный марганцовистый сорт стали. Мощности производственной площадки позволяют обеспечить выпуск больших партий изделий в короткий срок.

По результатам проведенных на выставке встреч и переговоров сформирован пул заявок на освоение новых изделий. А это значит, что производству задан вектор развития на расширение ассортимента этой продуктовой группы».

По результатам проведенных на выставке встреч и переговоров сформирован пул заявок на освоение новых изделий. А это значит, что производству задан вектор развития на расширение ассортимента этой продуктовой группы».



Мария Ипатова,
руководитель отдела маркетинга
ООО «АЗОТТЕХ»

Ни для кого не новость, что в этом году на выставке не представлены крупные зарубежные игроки, ушедшие с рынка и давшие таким образом стимул отечественным производителям развиваться в удвоенном темпе. Но здесь есть нюанс: еще существует стереотип, что российское оборудование уступает привычному заграничному. Наша миссия состоит в том, чтобы этот стереотип разрушить и создать новый, диаметрально противоположный.

Именно поэтому в этом году мы вновь, как и на протяжении последних семи лет, приехали на выставку «Уголь России и Майнинг», чтобы в прямом диалоге рассказать гостям стенда о уже реализованных и планируемых проектах. А рассказать есть о чем (здесь в очередной раз хочется поблагодарить нашу команду за продуктивную работу).

Машиностроительное подразделение, опираясь на огромный опыт производства и кастомизации модульных эмульсионных заводов и смесительно-зарядных машин, в этом году продолжило осваивать производство нестандартного оборудования по техническому заданию заказчика, которое зачастую предполагает работу над задачами, ранее никем не решаемыми. И в таком сотрудничестве «родилось» очередное уникальное для российского рынка по своим характеристикам решение – модуль приготовления раствора обезпывливания



для угольного разреза. В планах – развитие производства узлов приготовления растворов, которые смогут закрывать потребности в том числе нефтедобывающей и дорожной отрасли.

Есть значимые достижения и в направлении ИТ. Готовится к релизу новый цифровой продукт, также уникальный в своем роде – система высокоточного позиционирования СЗМ AISTblast для автоматизации и контроля заряжения ПБВ, которая позволит повысить безопасность работ при одновременном снижении издержек.

При том что акцент мы, безусловно, делаем на собственных разработках, не прекращаем взаимодействовать и с партнерами из дружественных стран. Так, в этом году в Новокузнецк мы приехали вместе с коллегами из Индии, чтобы рассказать о буровых установках, поставляемых компанией PRD Rigs по всему миру, а теперь и в Россию. Гости выставки могли даже пробурить скважину прямо на нашем стенде, с помощью VR-симулятора буровой установки «пересев» за пульт управления в полностью идентичную реальной кабину.



Михаил Кривых,
генеральный директор
ARMET GROUP

На выставке мы представили полумобильное дробильно-сортировочное оборудование от китайского бренда ALLIS SAGA. Это была полумобильная щековая дробильная установка WMJC1208, которая теперь славится не только своими передовыми технологиями и эффективностью, но и бронзовой наградой в номинации «Лучший экспонат».

Есть и еще один повод для гордости, ведь точно такая же установка успешно отработала свою первую зиму в условиях Крайнего Севера. Там она работает в связке с полумобильной конусной дробильной установкой WMH400, вместе они эффективно справляются с первой и второй стадиями дробления. На сегодняшний день мы на все 100% уверены, что техника, которая прошла самые суровые климатические условия, может работать в любой точке нашей страны.

Времена, когда у отечественных предприятий пропала возможность заключать контракты с иностранными компаниями, наше оборудование соответствует и зачастую даже превосходит европейские аналоги по многим характеристикам. Оно может быть как полным аналогом и совпасть с уже имеющимся у заказчика по принципу «болт в болт», так и быть



модифицированным под специфические задачи каждого производства. Каждая единица товара проходит строгий контроль качества, что минимизирует любые риски, гарантирует долговечность и долгосрочную выгоду.

Помимо этого, мы продемонстрировали ассортимент изнашиваемых литейных изделий и запасных частей для ДСО. Было важно показать, что ARMET GROUP – это команда, которая занимается не только поставками техники, но и производством сопутствующих товаров для обслуживания. Мы предлагаем предприятиям комплексные решения для обеспечения их эффективной работы. Такого результата удалось добиться благодаря широкому выбору оборудования и комплектующих, индивидуальному подходу и премиальному качеству.

Думаю, что выставка прошла для нас так успешно из-за желания соответствовать ее масштабам. В этом году ее площадь значительно увеличилась и возросло количество участников. Это тот самый случай, когда размер имеет значение – наличие большого стенда и полноразмерных экспонатов определяет успех для компании.

9 – 10 октября 2024

Москва, Россия

Рэдиссон Славянская



20-Й ГОРНЫЙ ФОРУМ
И ВЫСТАВКА

minexrussia.ru

16+

Горняцкая слава и горняцкая честь

Памяти Юрия Николаевича Малышева



1 сентября 2024 г. исполняется 85 лет со дня рождения Юрия Николаевича Малышева (1 сентября 1939 г. – 5 сентября 2022 г.), академика РАН, президента Академии горных наук, директора (2012–2015), президента Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН (2015–2022), лауреата Государственной премии РФ, премий Правительства России, заслуженного деятеля науки и техники РФ, признанного лидера российского горного сообщества.

Все, кому посчастливилось работать с Юрием Николаевичем Малышевым, будут помнить его как замечательного человека, высокого профессионала, талантливого ученого, учителя, истинным призванием которого стало горное дело.

Академик Малышев вписал немало ярких страниц в историю развития отечественной горной промышленности. Свой трудовой путь – от подкатчика шахты треста «Прокопьевскуголь» до президента государственной компании «Росуголь», от студента до академика Российской академии наук – Юрий Николаевич прошел с честью и достоинством.

Он проходил этот путь вместе со своей страной. В нелегкое время перестройки Ю.Н. Малышев взялся за решение тяжелой, но судьбоносной задачи – провести глобальную реструктуризацию угольной отрасли страна, опыта проведения которой в мире не было. В результате ее проведения угольная промышленность стала высокоэффективной отраслью экономики России.

Главной целью всей своей работы Юрий Николаевич всегда считал сохранение жизни шахтеров. Возглавляя Росуголь,

решая производственные вопросы, Юрий Николаевич ни на минуту не забывал о людях, живущих в шахтерских городах и поселках и делал все возможное для улучшения их жизни.

В 1993 году при активном участии Ю.Н. Малышева была основана Академия горных наук, бессменным президентом которой он оставался до конца своих дней.

В 1999 году Юрий Николаевич единогласно был избран президентом созданного по его инициативе НП «Горнопромышленники России», которое он возглавлял в течение 14 лет, а позже был его Почетным президентом.

В 2010 г. Ю.Н. Малышев возглавил Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН, а с 2015 г. стал президентом ГГМ РАН. За короткий срок под его руководством музей превратился в прекрасный, отвечающий всем современным требованиям просветительский центр. Под его началом создан первый в России Межвузовский академический центр навигации по специальностям горно-геологического профиля. Сегодня Центру присвоено почетное звание – имени Ю.Н. Малышева. Музей ежедневно посещают школьники и студенты – молодое поколение, которое так любил академик Малышев. Под его руководством создан и сегодня успешно издается журнал для молодежи «Горная промышленность. ЮНИОР».

Юрий Николаевич внёс большой вклад в развитие горной науки. Ю.Н. Малышев – автор 160 научных работ, 50 патентов и изобретений.

Вклад Ю.Н. Малышева в горное дело, в развитие угольной промышленности нашей страны отмечен орденами, наградами и почетными званиями.

* * *

С 2017 г. Юрий Николаевич возглавлял редакцию журнала «Горная промышленность». Мы благодарны судьбе за то, что она подарила нам возможность работать под руководством и учиться у такого человека как академик Малышев. Мы благодарны за его школу и мудрые советы.

Светлая память о Юрии Николаевиче Малышеве навсегда сохранится в наших сердцах.

**Коллектив редакции журнала
«Горная промышленность»**



13 сентября 2023 г. на Троекуровском кладбище в Москве состоялась торжественная церемония открытия памятника Ю.Н. Малышеву. В церемонии открытия памятника приняли участие друзья и коллеги, представители организаций горнопромышленного комплекса.

Автор скульптурной композиции известный скульптор Филипп Трушин.

Экологосбалансированная геотехнология освоения природных и техногенных георесурсов

Н.В. Гончар¹, В.А. Пикалов², А.В. Соколовский²✉, М.А. Терешина²

¹ АО «Русская медная компания», г. Екатеринбург, Российская Федерация

² ООО «Научно-технический центр – Геотехнология» (НТЦ-Геотехнология), г. Челябинск, Российская Федерация
✉ avs@ustup.ru

Резюме: Ежегодно образуется более 9 млрд т отходов производства и потребления, из них около 90% приходится на добычу полезных ископаемых, в том числе более 70% – на добычу угля и около 25% – на добычу металлических руд. Решение вопросов, связанных с обращением отходов горнодобывающего производства, является весьма актуальным и затрагивает целый ряд аспектов в области законодательства, научно-методического и проектного обеспечения, технико-технологических решений. Для снижения негативных последствий размещения такого значительного объема отходов сформирована государственная концепция рационального природопользования, которая нацелена на регулирование их использования и вовлечение в хозяйственный оборот. Законодательные инициативы стимулируют экологическую ориентированность отработки месторождений и комплексное использование георесурсов. Это приводит к необходимости развития научной базы проектирования горнотехнических систем и к поиску новых экологосбалансированных технико-технологических решений по разработке месторождений. Примерами масштабного и успешного использования экологосбалансированных решений являются проекты освоения Михеевского и Тарутинского месторождений, на которых при углубочной системе разработки предусматривается закладка выработанного пространства с использованием вскрышных пород, размещение отвалов осуществляется как с учетом максимального сохранения лесного массива, так и для обеспечения естественного проветривания карьеров. На Михеевском ГОКе реализуется решение по совмещению строительства отвала и дамбы хвостохранилища. В проектах ликвидации Александринского рудника и Коркинского угольного разреза предусмотрено использование закладочного материала, приготовленного на основе хвостов обогащения. Такие решения обеспечивают как ликвидацию накопленного вреда, так и сокращение образования текущих отходов.

Ключевые слова: отходы производства, экологическая сбалансированность, геотехнология, профилактические решения, компенсирующие решения

Для цитирования: Гончар Н.В., Пикалов В.А., Соколовский А.В., Терешина М.А. Экологосбалансированная геотехнология освоения природных и техногенных георесурсов. *Горная промышленность*. 2024;(4):68–73. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-68-73>

Environmentally balanced geotechnology for development of natural and man-made geological resources

N.V. Gonchar¹, V.A. Pikalov², A.V. Sokolovsky²✉, M.A. Tereshina²

¹ Russian Copper Company Limited, Ekaterinburg, Russian Federation

² Geotechnology LLC, Chelyabinsk, Russian Federation

✉ avs@ustup.ru

Abstract: More than 9 billion tons of industrial and consumption wastes are generated annually, of which about 90% are from mining of minerals, including the share of over 70% from coal mining and about 25% from metal ore mining. Tackling the issues related to mining waste management is a highly topical task that involves a number of aspects in the fields of legislation, scientific, methodological and design support, as well as technical and technological solutions. In order to reduce the negative consequences associated with the disposal of such a significant amount of waste, a governmental concept of rational nature management has been formulated, which aims to regulate its use and economic rehabilitation. Legislative initiatives stimulate environmentally conscious mining and comprehensive use of georesources. This calls for the development of a scientific basis for designing mining engineering systems and the search for new environmentally balanced technical and technological solutions for deposit development. Examples of large-scale and successful use of ecologically balanced solutions are the development

projects of the Mikheyevskoye and Tarutinskoye deposits, where, in the case of the sinking mining system, the overburden is planned to be used for filling the mined-out space, and the dumps are placed both taking into account the maximum preservation of the forest area and to ensure natural ventilation of the open pits. At Mikheyevsky GOK, a solution is being implemented to combine the construction of a dump site and a tailings dam. The projects for abandonment of the Alexandrinsky mine and the Korkinsky coal mine include the use of mill tailing as the basis for the backfill material preparation. Such solutions ensure both elimination of accumulated damage and reduction of current waste generation.

Keywords: industrial waste, environmental balance, geotechnology, preventive solutions, compensating solutions

For citation: Gonchar N.V., Pikalov V.A., Sokolovsky A.V., Tereshina M.A. Environmentally balanced geotechnology for development of natural and man-made geological resources. *Russian Mining Industry*. 2024;(4):68–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-68-73>

Введение

Добыча полезных ископаемых остается одной из ведущих отраслей промышленности России, устойчиво занимая долю в ВВП России в текущих ценах на уровне 11%. Из этого числа около 70% приходится на долю нефти и природного газа, и только 18% на долю твердых полезных ископаемых¹ (рис. 1).

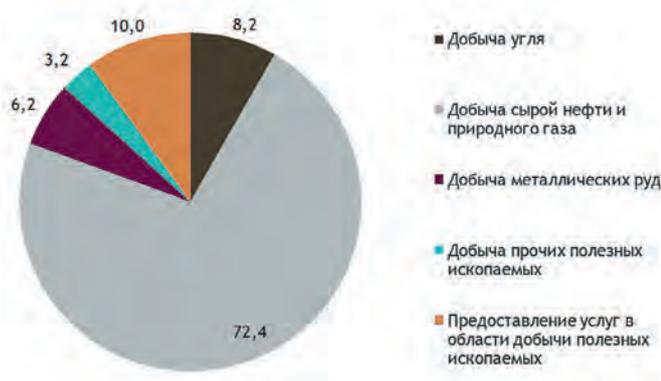


Рис. 1
Структура добычи полезных ископаемых

Fig. 1
Structure of mineral mining

Обратная ситуация с образованием отходов производства и потребления. Из более чем 9,0 млрд т ежегодно образуемых отходов производства и потребления около 90% приходится на добычу полезных ископаемых, из них более 70% приходится на добычу угля и около 25% – на добычу металлических руд².

В результате размещения такого значительного объема отходов оказывается негативное влияние на все элементы окружающей среды – изымаются значительные площади земель, ухудшается природный ландшафт, снижается качество жизни населения прилегающих территорий [1–3].

Решение вопросов, связанных с обращением отходов горнодобывающего производства, является весьма актуальным и затрагивает целый ряд аспектов в области законодательства, научно-методического и проектного обеспечения, технико-технологических решений [4; 5].

На этом фоне сформирована государственная концепция рационального природопользования, которая нацелена на снижение объема образуемых отходов, вовлечение отходов в хозяйственный оборот и регулирование их использования.

В 2023 г. принят ряд законодательных актов, регулирующих обращение с отходами недропользования, которые определяют направления использования отходов, обеспечивают возможность не вносить плату за отходы, используемые на различные нужды предприятия, а также определяют порядок подготовки проектной и разрешительной документации, в которой указываются направления, объемы и сроки использования вскрышных и вмещающих горных пород.

Данные законодательные решения стимулируют экологическую ориентированность отработки месторождений и комплексное использование георесурсов, что, в свою очередь, приводит к необходимости развития научной базы проектирования горнотехнических систем и к поиску новых экологосбалансированных технико-технологических решений по разработке месторождений.

По мнению авторов, снижение негативного воздействия на окружающую среду при добыче полезных ископаемых возможно за счет развития и совершенствования геотехнологий, направленных на повышение полноты использования природных, природно-техногенных и техногенных георесурсов, а также принятия экологически сбалансированных горнотехнических решений [5; 6].

Методические положения

Сущность экологически сбалансированной геотехнологии в комплексном освоении георесурсов, при котором одни природные и техногенные объекты могут быть использованы для создания, эксплуатации, ликвидации, размещения и рекультивации других объектов с одновременным снижением антропогенной нагрузки, улучшением экологической обстановки, а также восстановлением окружающей среды и ландшафтов.

Экологосбалансированная технология разработки твердых полезных ископаемых нацелена на компенсацию неизбежных негативных воздействий, возникающих во всех технологических процессах горнодобывающего производства, эколого-восстанавливающими решениями, реализуемыми не только на всех стадиях жизненного цикла горнодобывающего предприятия, но и за его пределами.

¹ Динамика промышленного производства в России: опережающий рост добывающего сектора. Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. 2019. 28 с.

² О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова; 2023. 686 с.

В основу экологосбалансированной геотехнологии закладываются:

- природно-технические возможности месторождения и территории вокруг него (наличие выработанных пространств, водных, земельных ресурсов, потребителей переработанных отходов и т.п.) [7; 8];
- профилактические и компенсирующие воздействия, которые определяются природно-техническими возможностями конкретного предприятия, снижают антропогенную нагрузку и имеют эколого-восстанавливающую направленность [9; 10];
- производственно-экологический мониторинг, осуществляемый с целью контроля эколого-технологической сбалансированности и последствий реализации профилактических и компенсирующих воздействий [11].

Результаты

Применение экологосбалансированной технологии предполагает комплексное использование профилактических и компенсирующих технологических решений, ключевыми из которых являются [12–15]:

- переработка и использование отходов производства;
- использование техногенных пространств и сооружений;
- водосбережение и замкнутое водопользование;
- снижение землеемкости посредством рационального отвалообразования и складирования.

Рассмотрим подробнее каждое направление, а также конкретные примеры профилактических и компенсирующих технологических решений.

Решения по использованию отходов рассматриваются как в разделах проекта, так могут быть представлены и отдельными проектами. Эти решения, как правило, направлены на:

- расширение областей использования вскрышных и вмещающих пород при строительстве;

– углубленную переработку отходов с целью извлечения полезных компонентов;

– использование в качестве закладочных и строительных материалов как с предварительной подготовкой, так и без нее.

Для разработки таких решений необходимо дополнительное изучение свойств отходов с целью поиска направлений применения в качестве техногенного ресурса или новых материалов. Как правило, требуется изменение подходов к складированию отходов с целью обеспечения эффективности их дальнейшего применения, сохранности полезных свойств и компонентов [16].

Для оценки воздействия на окружающую среду производятся масштабные исследования и моделирование последствий использования техногенных ресурсов³.

Так, в случае использования хвостов обогатительных фабрик в качестве основы для производства закладочного материала предварительно исследуются физико-химические процессы, происходящие в закладочном материале, делается прогноз водоотдачи и скорости осаждения твердых частиц при различных условиях. Особое внимание при оценке последствий использования закладочного материала, изготовленного из хвостов обогащения, уделяется гидродинамическому и геомеханическому моделированию. Минимальный состав гидродинамических моделей представлен на рис. 2.

На заключительном этапе подбирается оборудование для приготовления закладочного материала. Зачастую это оборудование уникальное.

Следующее направление экологосбалансированных решений – рациональное размещение и складирование отходов. Эти решения направлены на расширение области применения закладки выработанного пространства карьеров с использованием пород вскрыши, проведение временной либо частичной рекультивации складов и отвалов, осуществляемой в ходе ведения горных работ для

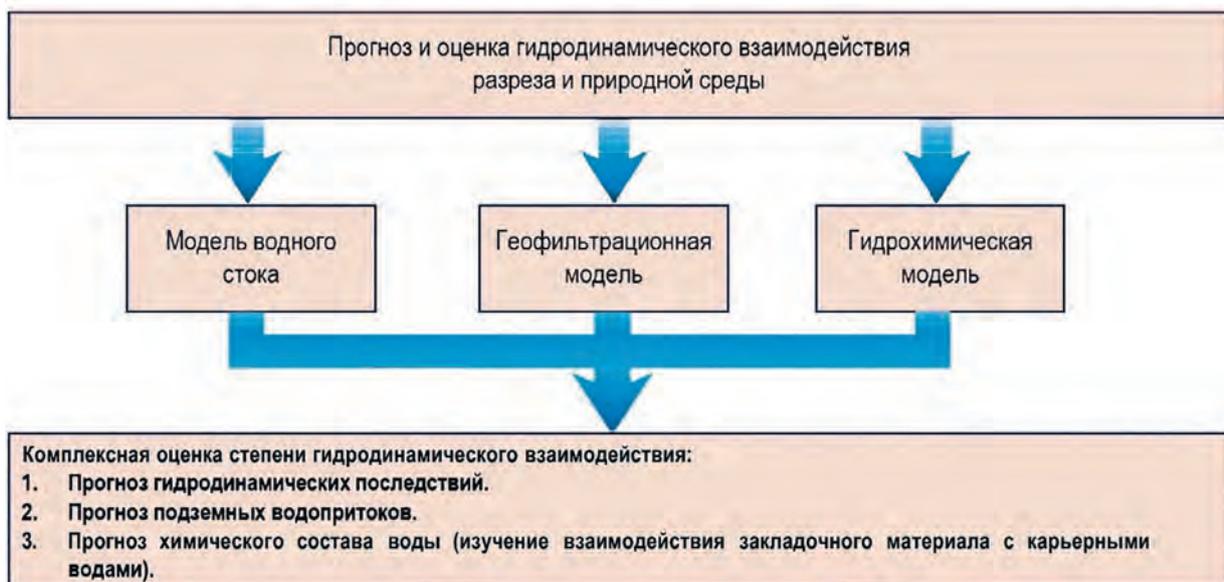


Рис. 2
Схема гидродинамического моделирования последствий экологически сбалансированного освоения техногенных георесурсов

Fig. 2
A schematic diagram of hydrodynamic modeling of the consequences of ecologically balanced development of man-made georesources

³ Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование геомеханических и геодинамических условий в области влияния разреза «Коркинский» и разработка методических рекомендаций по возможным вариантам его ликвидации, организации и развертывании системы полномасштабного геофизического и гидро-геомеханического и научного мониторинга за состоянием прибортового массива, обеспечивающих безопасность окружающей социальной и промышленной инфраструктуры. Екатеринбург: ФГБУН «Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук»; 2014. 421 с.

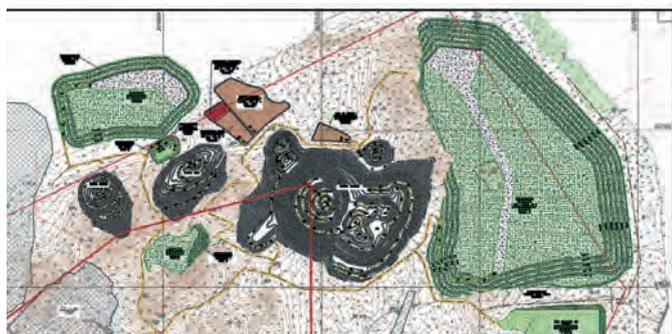


Рис. 3
Проектируемый результат
совмещения рекультивации и
отсыпки отвалов

Fig. 3
A projected result of
combined reclamation and
dump construction

исключения пыления, повышения коррозионной стойкости откосов, снижения воздействия на атмосферный воздух, улучшения эстетики окружающего ландшафта. Одним из способов осуществления временной рекультивации является применение гидропосева травянистой растительности.

На рис. 3 представлен результат временной рекультивации, совмещенной с отсыпкой отвалов.

Для принятия проектных решений с использованием закладки выработанного пространства при углубочной системе разработки и с временной либо частичной рекультивацией необходимо обоснование режима горных работ, последовательности отсыпки отвалов и складов с учетом параллельного выполнения рекультивационных работ.

Перспективным решением является совмещение строительства отвалов и хвостохранилищ. Вариант такого решения представлен на рис. 4

Для разработки подобных решений необходимо изменение подходов к формированию конструкций отвалов и хвостохранилищ, изучение закономерностей их устой-



Рис. 5
Структура схемы системы
оборотного водоснабжения

Fig. 5
A structural scheme of the
recycling water supply system

чивости, обоснование порядка и технологии отсыпки отвала с напорной стороны. Решения, направленные на рациональное водопользование, включают как традиционный сбор карьерных и подотвальных вод для их использования в оборотном водоснабжении, так и применение локальных и мобильных водоочистных установок для исключения сброса загрязненных вод в водные объекты. Для разработки подобных решений необходимо углубленное изучение гидрометеорологических и гидрологических условий территории, изучение качества воды с целью использования для технологических нужд без предварительной либо с частичной очисткой. Зачастую требуется изменение подходов к сбору воды с мест производства работ.

Пример сложных систем водосбора и водоотведения представлен на рис. 5. Для сбора карьерных и подотваль-

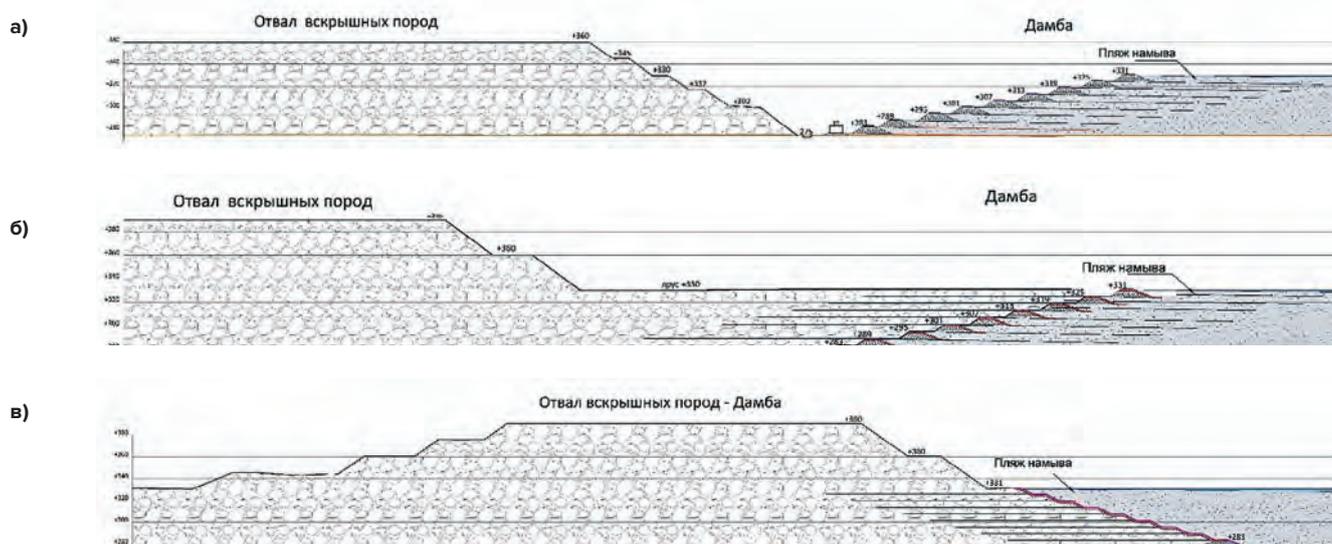


Рис. 4
Варианты совмещения отвала и дамбы хвостохранилища:
а – традиционная отсыпка; б – совмещение отсыпки отвала и
строительства дамбы хвостохранилища; в – отвал-дамба
хвостохранилища

Fig. 4
Options for combined construction of a dump site and a tailings
dam: а – traditional dumping; б – combined construction of a
dump site and a tailings dam; в – a waste dump and a tailings dam
in one



Рис. 6
Пример размещения отвалов и складов с учетом сохранения лесных участков

Fig. 6
An example of dumps and stockpiles location with account for preservation of the forest areas

ных вод предусмотрена система прудов-накопителей и насосных станций, последовательно перекачивающих воду в хвостохранилище. В системе более 15 прудов. Протяженность трубопроводов более 20 км, около 10 км нагорных и водосборных канав.

Примерами масштабного и успешного использования экологосбалансированных решений являются проекты освоения Михеевского и Тарутинского месторождений, на которых при углубочной системе разработки предусматривается закладка выработанного пространства с использованием вскрышных пород, размещение отвалов осуществляется как с учетом максимального сохранения лесного массива, так и для обеспечения естественного проветривания карьеров (рис. 6).

На Михеевском ГОКе реализуется решение по совмещению строительства отвала и дамбы хвостохранилища. В проектах ликвидации Александринского рудника и Коркинского угольного разреза предусмотрено использование складочного материала, приготовленного на основе хвостов обогащения. Такие решения обеспечивают как ликвидацию накопленного вреда, так и сокращение образования текущих отходов.

Выводы

Снижение антропогенного воздействия горнодобывающих предприятий на окружающую среду возможно при использовании экологосбалансированной геотехнологии, нацеленной на компенсацию неизбежных негативных воздействий эколого-восстанавливающими решениями, реализуемыми не только на всех стадиях жизненного цикла горнодобывающего предприятия, но и за его пределами.

Данные решения, основанные на концепции экологического баланса, требуют проведения дополнительных исследований, углубленного обоснования технико-технологических параметров, изменения подходов к порядку и методам проектирования, но позволяют существенно сократить негативное воздействие на природно-социальное окружение.

Список литературы / References

1. Кокоев В.Т. Эколого-экономические аспекты природопользования при добыче руд в техногенных экосистемах высокогорья. *Экономика: вчера, сегодня, завтра*. 2020;10(11A):220–229. Режим доступа: <http://www.publishing-vak.ru/file/archive-economy-2020-11/22-kokoev.pdf> (дата обращения: 09.06.2024).
Kokoev V.T. Ecological and economic aspects of nature management during ore mining in technogenic ecosystems of high mountains. *Economics: Yesterday, Today and Tomorrow*. 2020;10(11A):220–229. (In Russ.) Available at: <http://www.publishing-vak.ru/file/archive-economy-2020-11/22-kokoev.pdf> (accessed: 09.06.2024).
2. Azcue J.M. (ed.) *Environmental impacts of mining activities: Emphasis on mitigation and remedial measures*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg; 1999. 300 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-59891-3>
3. Tibbett M. (ed.) *Mining in Ecologically Sensitive Landscapes*. CSIRO Publishing; 2015. 288p. <https://doi.org/10.1071/9780643106369>
4. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Принципы обоснования параметров устойчивого и экологически сбалансированного освоения месторождений твердых полезных ископаемых. В кн.: *Рыльникова М.В. (ред.) Условия устойчивого функционирования минерально-сырьевого комплекса России*. М.: Горная книга; 2014. Вып. 2. С. 3–10.
5. Соколовский А.В., Гончар Н.В. Оценка направлений использования техногенных ресурсов при отработке различных видов минерального сырья. *Горная промышленность*. 2023;(5):102–107. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5-102-107>
Sokolovsky A.V., Gonchar N.V. Assessment of directions to use man-made resources in the development of various types of mineral raw materials. *Russian Mining Industry*. 2023;(5):102–107. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5-102-107>

6. Гончар Н.В., Соколовский А.В., Терешина М.А. Проект комплексного освоения георесурсов. *Рациональное освоение недр*. 2023;(3):38–44. Режим доступа: https://www.ustup.ru/netcat_files/99/573/Ron_3_23_Gonchar_Sokolovskiy_Tereshina.pdf (дата обращения: 09.06.2024).
Gonchar N.V., Sokolovskiy A.V., Teryoshina M.A. Project of georesources comprehensive development. *Ratsionalnoe Osvoenie Nedr*. 2023;(3):38–44. (In Russ.) Available at: https://www.ustup.ru/netcat_files/99/573/Ron_3_23_Gonchar_Sokolovskiy_Tereshina.pdf (accessed: 09.06.2024).
7. Мироненко В.А., Румынин В.Г. *Проблемы гидрогеоэкологии*. Том 3. Прикладные исследования (книга 1). М.: Изд-во МГГУ; 2002. 312 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/1906> (дата обращения: 09.06.2024).
8. Sengupta M. *Environmental Impacts of Mining: Monitoring, Restoration, and Control*. 2nd ed. UK: CRC Press; 2021. 374 p. <https://doi.org/10.1201/9781003164012>
9. Даванков А.Ю. (ред.) *Социально-экономические направления нейтрализации негативных последствий техногенеза: научный доклад*. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН; 2017. 40 с.
10. Aftab T. (ed.) *Sustainable Management of Environmental Contaminants: Eco-friendly Remediation Approaches*. Springer Cham; 2022. 551 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-08446-1>
11. Гуман О.М., Грязнов О.Н., Антонова И.А., Макаров А.Б., Захаров А.В. *Эколого-геологические условия и мониторинг окружающей среды полигонов твердых бытовых отходов Среднего Урала*. Екатеринбург: ООО «УИПЦ»; 2013. 237 с.
12. Голик В.И., Дмитрак Ю.В., Габараев О.З., Кожиев Х.Х. Минимизация влияния горного производства на окружающую среду. *Экология и промышленность России*. 2018;22(6):26–29. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-6-26-29>
Golik V.I., Dmytrak Yu.V., Gabaraev O.Z., Kozhiev Kh.Kh. Minimizing the Impact of Mining on the Environment. *Ecology and Industry of Russia*. 2018;22(6):26–29. (In Russ.) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-6-26-29>
13. Голик В.И., Бурдзиева О.Г., Дмитрак Ю.В., Шяймартдянов Т.Э. Взаимодействие природных и технических систем обеспечения сбалансированности земной поверхности при освоении недр. *Геология и геофизика Юга России*. 2018;(4):33–44. <https://doi.org/10.23671/VNC.2018.4.20132>
Golik V.I., Burdzieva O.G., Dmytrak Yu.V., Sheymartdyanov T.E. Interaction of natural and technical systems for ensuring balance of earth surface when developing bowelsin. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2018;(4):33–44. (In Russ.) <https://doi.org/10.23671/VNC.2018.4.20132>
14. Трубецкой К.Н. (ред.) *Развитие ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения месторождений полезных ископаемых*. М.: ИПКОН РАН; 2014. 196 с. <https://www.geokniga.org/books/26756>
15. Spitz K., Trudinger J. *Mining and the Environment: From Ore to Metal*. 2nd ed. CRC Press; 2019. 812 p.
16. Araujo F.S.M., Taborda-Llano I., Nunes E.B., Santos R.M. Recycling and Reuse of Mine Tailings: A Review of Advancements and Their Implications. *Geosciences*. 2022;12(9):319. <https://doi.org/10.3390/geosciences12090319>

Информация об авторах

Гончар Наталия Валерьевна – кандидат технических наук, заслуженный эколог Российской Федерации, вице-президент по экологической и промышленной безопасности, АО «Русская медная компания», г. Екатеринбург, Российская Федерация

Пикалов Вячеслав Анатольевич – доктор технических наук, начальник отдела, ООО «НТЦ-Геотехнология», г. Челябинск, Российская Федерация

Соколовский Александр Валентинович – доктор технических наук, генеральный директор, ООО «НТЦ-Геотехнология», г. Челябинск, Российская Федерация; e-mail: avs@ustup.ru

Терешина Мария Александровна – кандидат экономических наук, первый заместитель генерального директора, ООО «НТЦ-Геотехнология», г. Челябинск, Российская Федерация

Information about the authors

Natalia V. Gonchar – Cand. Sci. (Eng.), Honored Ecologist of the Russian Federation, Vice-President of Safety and Environment, Russian Copper Company Limited, Ekaterinburg, Russian Federation

Vyacheslav A. Pikalov – Dr. Sci. (Eng.), Head of Department, Geotechnology LLC, Chelyabinsk, Russian Federation

Alexander V. Sokolovsky – Dr. Sci. (Eng.), General Manager of Geotechnology LLC, Chelyabinsk, Russian Federation; e-mail: avs@ustup.ru

Maria A. Tereshina – Cand. Sci. (Econ.), First Deputy CEO, Geotechnology LLC, Chelyabinsk, Russian Federation

Article info

Received: 07.06.2024

Revised: 23.07.2024

Accepted: 24.07.2024

Информация о статье

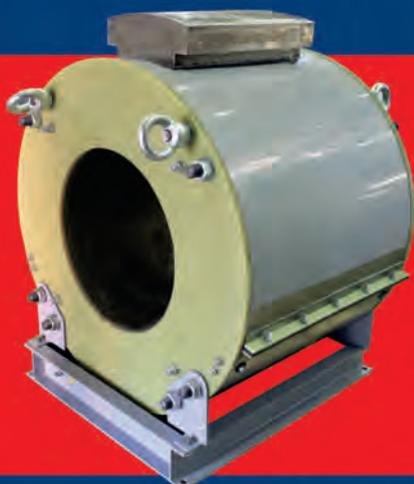
Поступила в редакцию: 07.06.2024

Поступила после рецензирования: 23.07.2024

Принята к публикации: 24.07.2024

РАЗМАГНИЧИВАЮЩИЕ АППАРАТЫ

НПК «МЕХАНОБР-ТЕХНИКА»



- ▶ применяются при размагничивании пульп, содержащих ферромагнитные частицы
- ▶ повышают эффективность операций классификации, магнитной, гравитационной и флотационной сепарации руд и техногенных материалов
- ▶ повышают качество железорудных концентратов с использованием немагнитных способов доводки
- ▶ снижают затраты на электроэнергию в замкнутых циклах измельчения
- ▶ аппараты не имеют движущихся частей и не нуждаются в специальном обслуживании

Подробная информация и запрос на бесплатную консультацию специалиста на сайте

Россия, г. Санкт-Петербург
sales@mtspsb.com+7 812 331 02 43
 +7 921 905 13 05WWW.MTSPB.COM +7 (495) 276-77-88 info@creon-group.com creon-conferences.com

ФОРУМ УГОЛЬ 2024

16+

Ключевые темы форума:

- Мировой рынок угля: ключевые тренды & перспективы российских производителей
- Состояние и проблематика угольной отрасли России. Внутренний рынок
- Прогноз мировых и российских цен на энергетические угли в среднесрочной перспективе
- Перспективы развития угольных проектов России
- Роль биржевой торговли углем на СПБМТСБ
- Потенциальные экспортные рынки и их объем
- Оценка поддержки железнодорожным транспортом угольной отрасли в рамках тарифной политики
- Перевалка угля в морских портах России. Тенденции и перспективы
- Перевозка угля в условиях действия временных правил
- Современные мировые трансформации: уголь как часть глобальной энергетики, стратегические прогнозы, выводы для России
- Технологические инновации в угольной индустрии И другие актуальные темы.

18 СЕНТЯБРЯ 2024 • МОСКВА**Будем рады встрече!**

Добыча полезных ископаемых в космосе: обзор современных исследований и разработок

А.К. Кирсанов✉, С.А. Вохмин, Г.С. Курчин, Е.П. Волков

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация

✉ AKirsanov@sfu-kras.ru

Резюме: В связи с планомерным истощением ресурсов на нашей планете добыча полезных ископаемых в космосе, которая когда-то была футуристической идеей, на сегодняшний день быстро становится областью активных изысканий. Данная статья представляет собой обзор актуальных исследований и инженерных разработок, направленных на создание новых методов и технологий добычи ресурсов на таких внеземных небесных телах, как Луна или астероиды. В исследовании демонстрируется ресурсный потенциал, который человечество может начать извлекать для своих нужд, а также краткий перечень уже действующих программ разных космических агентств, направленных на дальнейшее освоение космоса. В работе рассматриваются существующие технологические достижения и коммерческие интересы, стимулирующие данный вид деятельности. Дополнительно показаны такие перспективные направления космической добычи, как автоматизированные роботизированные системы, биодобыча, различные виды взрывных работ и транспортировка частей астероида на Землю для дальнейшего извлечения из него полезных компонентов. Помимо этого, в работе представлена информация о существующих технологиях жизненного обеспечения, необходимых для комфортного нахождения специалистов на космических телах, в случае если это подразумевает выбранная технология. На основе анализа современного состояния исследований и разработок сделан вывод о перспективности и значимости дальнейших усилий в области космической добычи для будущего освоения космического пространства и обеспечения потребностей человечества в ресурсах.

Ключевые слова: добыча полезных ископаемых в космосе, внеземные ресурсы, добыча на астероидах, изучение астероидов, планетная геология, ресурсы космических тел, экономика космической отрасли

Для цитирования: Кирсанов А.К., Вохмин С.А., Курчин Г.С., Волков Е.П. Добыча полезных ископаемых в космосе: обзор современных исследований и разработок. *Горная промышленность*. 2024;(4):75–80. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-75-80>

Space mining: a review of current research and developments

A.K. Kirsanov✉, S.A. Vokhmin, G.S. Kurchin, E.P. Volkov

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

✉ AKirsanov@sfu-kras.ru

Abstract: Due to gradual depletion of the Earth's resources, space mining, which was once a futuristic idea, is now rapidly becoming an area of active research. This paper provides an overview of relevant research and engineering developments aimed at creating new methods and technologies for resource extraction on extraterrestrial celestial bodies such as the Moon or asteroids. The study shows the resource potential that humankind can begin to exploit for its needs and provides a brief list of already active programs of different space agencies aimed at further space exploration. The paper discusses the existing technological advances and commercial interests promoting this activity. Besides, it shows such promising space mining areas as automated robotic systems, biomineral, various kinds of blasting, and transportation of asteroid parts to the Earth for further extraction of useful components. The paper also provides information on the existing life support technologies required to secure comfortable existence of the specialists on the space bodies, in case the chosen technology implies it. Relying on the analysis of the current state of research and development, the authors conclude that further efforts in the area of space mining are promising and important for the future exploration of outer space and for meeting humanity's resource needs.

Keywords: space mining, extraterrestrial resources, asteroid mining, asteroid exploration, planetary geology, resources of space bodies, space economics

For citation: Kirsanov A.K., Vokhmin S.A., Kurchin G.S., Volkov E.P. Space mining: a review of current research and developments. *Russian Mining Industry*. 2024;(4):75–80. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-75-80>

Введение

Глобальный спрос на минеральные ресурсы в современном мире быстро растёт [1], что обуславливается постоянной разработкой новых, экологически чистых энергетических технологий, таких как ветряные турбины, солнечные батареи, аккумуляторы для электромобилей и т. д. (табл. 1) [2]. Однако в связи с постепенным истощением континентальных и морских месторождений человечество неминуемо будет создавать более совершенные технологии, позволяющие обратить свой взор на космические тела как на источник восполнения этих критически важных элементов [3–7].

Таблица 1
Необходимые полезные ископаемые для различных экологически чистых технологий

Table 1
Minerals required for various environmentally friendly technologies

Сектор «зелёных» технологий	Перечень необходимых полезных ископаемых
Солнечная энергия	Бокситы, алюминий, кадмий, медь, галлий, германий, индий, железо, свинец, никель, селен, кремний, серебро, теллур, олово, цинк
Энергия ветра	Бокситы, алюминий, хром, кобальт, медь, железо, свинец, марганец, молибден, редкоземельные элементы, цинк
Электромобили и различные накопители энергии	Бокситы, алюминий, кобальт, медь, графит, железо, свинец, литий, марганец, никель, редкие земли, кремний, титан

Возможность добычи полезных ископаемых в космосе ранее относилась к области научной фантастики, а сегодня она изучается в рамках новой активно развивающейся концепции. Просторы космоса таят в себе бесчисленное множество небесных тел, многие из которых согласно проведённым многочисленным исследованиям богаты ценными минералами [8–11]. Именно поэтому в последние годы учёными со всего мира были достигнуты значительные успехи в создании различных технологий, необходимых для добычи полезных ископаемых в космосе, некоторые из них рассмотрены в данной работе.

В последнее время наблюдается всплеск интереса как со стороны правительственных агентств (например, программа NASA по перенаправлению астероидов – Asteroid Redirect Mission; Люксембургское Космическое Агентство, продвигающее коммерческий сектор добычи; Японское агентство аэрокосмических исследований, проявляющее интерес к добыче полезных ископаемых на астероидах и др.), так и частных компаний (например, Deep Space Industries (в 2019 г. приобретена компанией Bradford Space); Arkyd Astronautics (в 2009 г. переименованная в Planetary Resources, Inc.), Momentus Space; Honeybee Robotics и др.) к изучению возможности и коммерческой целесообразности добычи внеземных ресурсов [12–16].

Таким образом, с учётом повышающегося интереса к этой области целью данной статьи являлось краткое описание современного состояния исследований и разработок в области космической добычи полезных ископаемых.

Методология

При проведении настоящего исследования был осуществлён анализ профильных исследований и разработок в области космической добычи по различным научным базам данных. Помимо этого, для всестороннего освещения темы были использованы отчёты космических агентств разных стран и компаний.

Ресурсный потенциал

Добыча полезных ископаемых в космосе открывает доступ к огромным залежам ценных ресурсов, запасы которых в околоземных небесных телах, как считается, могут быть намного больше, чем на нашей планете [17; 18]. Данное утверждение базируется на многолетних исследованиях плотности, фотометрии, спектроскопии и радиолокационной отражаемости внеземных объектов, потенциально подходящих под критерии космической добычи, а также на образцах, доставленных на Землю.

Луна, астероиды, кометы – всё это потенциально представляет собой поле для изучения дальнейшей возможности вовлечения в промышленную космическую разработку. Ниже будут кратко описаны основные направления по изучению ресурсного потенциала околоземных небесных тел.

Луна

Целью геологоразведочных работ на Луне является оценка потенциала добычи ресурсов, необходимых для развития лунной инфраструктуры и обеспечения долгосрочного космического присутствия человека за пределами нашей планеты. К числу приоритетных ресурсов относятся [19]:

- пропелленты – водяной лёд, залегающий в полярных областях Луны, может служить источником для производства ракетного топлива, что позволит значительно снизить расходы на транспортировку грузов с Земли;
- вода – является незаменимым ресурсом для жизнеобеспечения человека в космических условиях. Она может быть получена из лунного льда путём его десублимации и электролиза;
- водород и кислород – эти элементы могут быть получены из воды и лунных минералов, что обеспечит производство дыхательной смеси и топлива для космических аппаратов;
- строительные материалы – реголит и горные породы, обильно представленные на лунной поверхности, могут быть использованы для возведения лунных баз и других объектов;
- минеральное сырьё – Луна богата летучими, редкими и редкоземельными элементами, которые представляют значительную ценность для различных отраслей промышленности.

Добыча этих ресурсов позволит создать на Луне самодостаточную экономику, снизив зависимость от поставок с Земли и стимулируя дальнейшее космическое исследование.

В этой связи в последнее время многие страны запустили множество космических кампаний по созданию различного рода инфраструктурных объектов для добычи полезных ископаемых на Луне.

Так, например, к 2035 г. Японское агентство аэрокосмических исследований хочет построить на Луне завод по производству водородного топлива из добытого льда, которое будет использоваться как для заправки луноходов и

выработки электричества, так и для полётов между Лунной и окололунной космической станцией.

В мае 2014 г. с целью создания на Луне обитаемой базы и инфраструктуры для добычи полезных ископаемых, заместителем председателя правительства РФ Д.О. Рогозиным был анонсирован проект российской лунной программы, включающий в себя отправку автоматических межпланетных станций («Луна-25, 26, 27, 28») для развёртывания полигона; пилотируемые экспедиции на орбиту Луны без высадки космонавтов; высадка космонавтов на Луну и развёртывание первой полноценной инфраструктуры для добычи полезных ископаемых. Завершение данной программы запланировано на 2040 г.

В мае 2019 г. президент США Дональд Трамп объявил о начале Программы «Артемиды» (Artemis) – амбициозного лунного проекта, рассчитанного на создание устойчивого присутствия человека на Луне к 2030 г. и использование Луны как трамплина для будущих миссий на Марс. Этапы реализации проекта:

- Artemis I: беспилотный облёт Луны (успешно завершён 11 декабря 2022 г.);
- Artemis II: пилотируемый облёт Луны (планируется на 2025 г.);
- Artemis III: высадка астронавтов на лунную поверхность в районе южного полюса (планируется на 2025 г.);
- Artemis IV и далее: доставка дополнительных модулей для лунной станции Gateway, проведение научных исследований, добыча ресурсов.

На данный момент к программе Artemis присоединились 18 стран: США, Канада, Европейское космическое агентство (ЕКА), Япония, Австралия, Бразилия, Великобритания, Израиль, Италия, Южная Корея, Люксембург, Мексика, Новая Зеландия, Норвегия, Польша, Румыния, ОАЭ, Саудовская Аравия, Украина.

Помимо такой глобальной космической программы, как «Артемиды», практически у каждой страны-участницы есть и свои локальные космические программы. Так, например, в августе 2023 г. Индия стала первой страной, успешно посадившей космический аппарат в районе южного полюса Луны, и четвёртой страной, совершившей мягкую посадку на Луну, после Советского Союза, США и Китая. Полёт проходил под эгидой Индийской космической исследовательской организации (ISRO) в рамках программы Chandrayaan.

Учитывая вышеизложенное, добыча лунных ресурсов сулит не только экономические выгоды, но и открывает новые горизонты для научно-исследовательской деятельности. Изучение лунных образцов, производство топлива на месте, создание лунных баз – всё это может стать катализатором для дальнейшего освоения космоса, прокладывая путь к Марсу и другим планетам.

Астероиды

В контексте добычи полезных ископаемых главное отличие астероида от Луны в том, что некоторые астероиды по сути являются концентрацией этих полезных ископаемых. Согласно общераспространённой классификации глобально астероиды делятся на 3 класса (табл. 2), каждый из которых содержит в себе определённые типы полезных компонентов.

Считается, что астероиды, особенно металлические (М-класса), богаты драгоценными металлами, такими как платина, золото и палладий. Эти ресурсы крайне важны для различных технологических применений, от электроники до аэрокосмической техники. На этом их потенциал не исчерпывается – астероиды являются потенциальными источниками железа и никеля (важнейшими компонентами для производства стали), а также могут содержать редкоземельные элементы (необходимые для современной электроники), и даже азот (необходим для систем жизнеобеспечения и производства удобрений).

Осознавая данную ценность астероидов, человечество уже сейчас активно готовится к их освоению. Миссии NASA, такие как OSIRIS-REx и Lucy, уже сейчас изучают астероиды, собирая информацию об их составе и потенциальных возможностях добычи. Частные компании, такие как SpaceX и Planetary Resources, разрабатывают планы по добыче астероидных ресурсов, видя в этом не только экономическую выгоду, но и возможность обеспечить человечество ресурсами на долгие годы вперёд.

Кометы

Кометы представляют наименьший интерес для добычи ресурсов. Из-за высокой эллиптичности орбит для их достижения требуется скорость, значительно большая, чем для полётов к астероидам. Постоянные испарения газа и пыли на кометах создают угрозу для систем косми-

Таблица 2
Классы астероидов и их детализированное представление

Table 2
Asteroid classes and their description

Класс астероидов	Химический состав	Ресурсы	Примечание
Класс C – углеродный	Глинистые и силикатные породы	Вода, углеродистые соединения	Самые распространённые. Наиболее удалённые от Солнца; самые древние и сохранившиеся благодаря низким температурам
Класс S – силикатный	В основном каменные материалы (например, оливин, пироксен) и никель-железные металлы	Никель и железо	Существуют в основном во внутренней части Главного пояса астероидов, и многие околоземные объекты относятся к этому типу. Данный класс считается источником наиболее часто встречающихся хондритовых метеоритов
Класс M – металлический	Преимущественно металл. Следы силикатов	Никель, железо, металлы платиновой группы, кобальт, золото	Также называются X-классом. Считается, что это остатки более крупных (>100 км) астероидов, от которых остались только чрезвычайно плотные металлические ядра после массивных столкновений на заре существования Солнечной системы. Находятся в средней части Пояса астероидов

ческих аппаратов и затрудняют навигацию в их окрестностях. Однако, несмотря на эти трудности, кометы остаются источником воды и других важных ресурсов, что делает их потенциально ценными и пригодными для будущих космических миссий и исследований [20].

Технологические достижения

Реализация идеи космической добычи требует преодоления уникальных проблем, связанных как с прямыми трудностями, например, с нашим уровнем технологической готовности (скорее всего потребуются новые технологии разведки и добычи полезных ископаемых) или безопасностью персонала (космическая среда представляет собой набор таких сложностей как экстремальные температуры, радиационное излучение, вакуум), так и с глобальными вопросами, такими как правовые и этические нормы добычи, международное сотрудничество и т. д.

Несмотря на многочисленные трудности, связанные с будущей добычей полезных ископаемых в космосе, научное сообщество по всему миру активно разрабатывает новые технологии, способные сделать эту амбициозную задачу реальностью.

Инновационные методы добычи

Исследователи разрабатывают инновационные методы добычи, адаптированные к условиям микрогравитации и вакуума космического пространства. Эти методы включают в себя использование роботов-манипуляторов, электростатической сепарации, 3D-печати и других передовых технологий.

В работе [21] рассматривается возможность использования кумулятивных зарядов взрывчатых веществ для производства взрывных работ на астероидах с их дальнейшим перенаправлением на нашу планету. Авторы предполагают, что перспективный для отработки кусок астероида подходящей формы может быть направлен на Землю, где из него уже и извлекут ценные компоненты. Предполагается, что этот метод будет более экономичным, поскольку не требует транспортировки большого количества оборудования к астероиду.

В работе канадских учёных [22] рассматривалось несколько методов бурения. В их исследовании подчёркиваются проблемы использования в космосе взрывчатых веществ, что связано с такими факторами как их стабильность и транспортабельность, а также безопасность производства работ. Авторы рассмотрели такой альтернативный метод как плазменный взрыв, который использует электрическую энергию для дробления породы.

В работе американских исследователей [23] говорится о том, что традиционные методы добычи на Луне и Марсе не совсем подходят для таких условий, и рассматриваются различные варианты добычных роботизированных систем.

В 2019 г. на борту МКС был проведён эксперимент по биодобыче под названием BioRock¹, где изучалась способность микробов извлекать элементы из базальта (распространённой горной породы, встречающейся на Луне и Марсе). Результаты данного эксперимента подтверждают, что микробы могут функционировать и расщеплять породу даже в условиях микрогравитации. Аналогичные эксперименты проводились Японским

агентством аэрокосмических исследований и Европейским космическим агентством.

Осенью 2023 г. британская компания Asteroid Mining Corp. представила свою разработку под названием SCAR-E (Space Capable Asteroid Robotic-Explorer – космический робот исследователь-астероидов). На данный момент робот напрямую не предназначен для добычи полезных ископаемых, но после планируемых модернизаций может использоваться для разведки местности на любом небесном объекте, а также сбора образцов породы.

Из отечественных разработок следует выделить буровзрывную технологию ведения горных работ на Луне и Марсе при проведении наклонной штольни [24].

Устойчивые технологии жизненного обеспечения

Для обеспечения жизнедеятельности людей вдали от Земли необходимо создавать замкнутые системы жизнеобеспечения, способные регенерировать воду, воздух и производить продукты питания. Эти системы будут играть решающую роль в обеспечении долгосрочного присутствия человека в космосе для добычи полезных ископаемых.

Для этих целей с 2008 г. на Международной космической станции (МКС) используется сложная система регенерации воды, позволяющая восполнять порядка 98% жидкости.

Такая технология, как система электролиза компании Bosch на МКС, удаляет углекислый газ, выдыхаемый астронавтами, и преобразует его в кислород, что помогает поддерживать пригодную для дыхания атмосферу внутри космического корабля. Также внимания заслуживает разработка Французской компании Air Liquide – «Sabatier», которая использует химический процесс для превращения углекислого газа и водорода в воду и кислород.

Поскольку производство продуктов питания является основой жизни как на Земле, так и за её пределами, разработка новых и усовершенствование действующих систем выращивания являются одними из приоритетных задач. С 2014 г. по настоящее время на МКС работает система «Veggie», позволяющая астронавтам выращивать для себя свежую зелень².

Помимо разработок новых методов добычи полезных ископаемых и технологий, призванных улучшить жизненное обеспечение людей в космосе, учёные рассматривают и такие варианты, как возможность создания поселения людей в астероидах, строительство модульных тороидальных, сферических или цилиндрических лунных баз и других объектов поселения людей в космосе [25; 26]. С позиции добычи полезных ископаемых этот факт говорит нам о потенциальном снижении негативного влияния горнодобывающей промышленности на окружающую среду нашей планеты, а также интенсификации развития инновационных разработок во всех сферах (создание новых материалов, сплавов, методов строительства и т. д.), что, в свою очередь, станет новым этапом в развитии человечества.

Учитывая вышеизложенное, можно заключить, что несмотря на значительные трудности, научно-технический прогресс неуклонно приближает человечество к реализации космической добычи. Разработка новых

¹ Space Station Research Integration Office. Harnessing the power of microbes for mining in space. 2022. Available at: <https://www.nasa.gov/missions/station/iss-research/harnessing-the-power-of-microbes-for-mining-in-space/> (accessed: 07.05.2024).

² National Aeronautics and Space Administration. Veggie. Available at: https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2019/04/veggie_fact_sheet_508.pdf (accessed: 07.05.2024).

технологий, международное сотрудничество и инновационные подходы открывают путь к новому этапу космической экспансии и добыче ценных ресурсов, которые могут стать ключом к решению проблем человечества на Земле.

Заключение

Несмотря на многочисленные трудности, связанные с суровыми условиями космоса, огромными расстояниями и высокими на данный момент капитальными затратами, интенсивные исследования и разработки в области космической добычи открывают новые возможности для реализации этой амбициозной задачи.

Ведущиеся в настоящее время поиски потенциальных космических месторождений, разработка технологий роботизированной добычи и развития концепции исполь-

зования ресурсов на месте (In-Situ Resource Utilization – сокращённо ISRU) закладывают основу для будущего, в котором космическая добыча станет реальностью. Данная деятельность может обеспечить доступ к важнейшим ресурсам, которых на Земле становится всё меньше, стимулировать технологический прогресс и, возможно, привести к открытию совершенно новых ресурсов.

Кроме того, добыча полезных ископаемых в космосе в сочетании с технологиями ISRU может проложить путь к созданию устойчивого присутствия человека за пределами Земли, что позволит осваивать дальний космос и колонизировать другие небесные тела. Продолжая инвестировать в развитие технологий космической добычи, человечество открывает будущее, богатое ресурсами и обладающее потенциалом для расширения наших возможностей на просторах космоса.

Список литературы / References

1. Кирсанов А.К., Саая С.Ш., Карванен А.Е., Анушенков С.В., Лопатина А.Н. Обзор современного состояния мировой горнодобывающей промышленности. *Маркшейдерия и недропользование*. 2023;(2):38–43. https://doi.org/10.56195/2079332_2023_2_38_43
Kirsanov A.K., Saaya S.Sh., Karvanen A.E., Anushenkov S.V., Lopatina A.N. Overview of the current state of the global mining industry. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2023;(2):38–43. (In Russ.) https://doi.org/10.56195/20793332_2023_2_38_43
2. Fleming M., Lange I., Shojaeina S., Stuermer M. Mining in space could spur sustainable growth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2023;120(43):e2221345120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2221345120>
3. Мельниченко А.М. Увеличение доли маломасштабных и среднемасштабных месторождений в горнодобывающем комплексе России. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(11):400–402. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2015/11/400_402_11_2015.pdf (дата обращения: 24.06.2024).
Mel'nichenko A.M. About increasing the part of the small-scale and middle-scale deposits in mining sector of Russian Federation. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2015;(11):400–402. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2015/11/400_402_11_2015.pdf (accessed: 24.06.2024).
4. Мининг С.С. Геолого-экономическая оценка месторождений твердых полезных ископаемых в условиях истощения минеральных ресурсов. *Маркшейдерский вестник*. 2005;(4):48–49.
Mining S.S. Geological and economic assessment of solid mineral deposits in the context of the depletion of mineral resources. *Mine Surveying Bulletin*. 2005;(4):48–49. (In Russ.)
5. Kirsanov A.K., Katyshev P.V. Economic drivers of seabed mining. *Izvestiya vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal*. 2024;(1):20–26. Available at: <https://www.mining-science.ru/download/2024/1-2024/002.pdf> (accessed: 24.06.2024).
6. Хайрутдинов М.М., Конгар-Сюрюн Ч.Б., Тюляева Ю.С., Хайрутдинов А.М. Планетная технология. Предпосылки формирования новой научной дисциплины. *Горная промышленность*. 2020;(3):113–120. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-3-113-120>
Khayrutdinov M.M., Kongar-Syuryun Ch.B., Tyulyaeva Yu.S., Khayrutdinov A.M. Planetary Technology. Prerequisites for the Formation of a New Scientific Discipline. *Russian Mining Industry*. 2020;(3):113–120. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-3-113-120>
7. Dahl C., Gilbert B., Lange I. Mineral scarcity on Earth: Are Asteroids the answer. *Mineral Economics*. 2020;33(1-2):29–41. <https://doi.org/10.1007/s13563-020-00231-6>
8. Cannon K.M., Gialich M., Acaín J. Precious and structural metals on asteroids. *Planetary and Space Science*. 2023;225:105608. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2022.105608>
9. Łuszczek K., Przylibski T.A. Selected metal resources on H chondrite parent bodies. *Planetary and Space Science*. 2021;206:105309. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2021.105309>
10. Ананьев П.П., Мещеряков Р.В., Ларионов П.В., Плотникова А.В., Беляков К. О. Методические подходы к переработке космического минерального сырья. *Руды и металлы*. 2017;(2):69–74.
Ananyev P.P., Meshcheryakov R.V., Larionov P.V., Plotnikova A.V., Belyakov K.O. Methodical approaches to cosmic mineral material processing. *Ores and Metals*. 2017;(2):69–74. (In Russ.)
11. Paikowsky D., Tzezana R. The politics of space mining – An account of a simulation game. *Acta Astronautica*. 2018;142:10–17. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2017.10.016>
12. Mazanek D.D., Merrill R.G., Brophy J.R., Mueller R.P. Asteroid Redirect Mission concept: A bold approach for utilizing space resources. *Acta Astronautica*. 2015;117:163–171. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2015.06.018>
13. Serres M. How Luxembourg becomes Europe's commercial space exploration hub. *Annales des Mines – Réalités industrielles*. 2019;(2):69–72. <https://doi.org/10.3917/rindu1.192.0069>

14. Мунтян М.Е., Сигаури-Горский Е.Р. Опыт Японии в области исследования и использования космического пространства: национальные и международно-правовые аспекты. *Теория и практика общественного развития*. 2023;(8):226–233. <https://doi.org/10.24158/tipor.2023.8.29>
Muntyan M.E., Sigauri-Gorsky E.R. Japan's experience in the exploration and use of outer space: National and international legal aspects. *Theory and Practice of Social Development*. 2023;(8):226–233. (In Russ.) <https://doi.org/10.24158/tipor.2023.8.29>
15. Choi Y. Review of space industry and technology for asteroid mining. *Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*. 2021;58(6):640–651. <https://doi.org/10.32390/ksmer.2021.58.6.640>
16. Steffen O. Explore to exploit: a data-centred approach to space mining regulation. *Space Policy*. 2022;59:101459. <https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2021.101459>
17. Badesce V. (ed.) *Asteroids. Prospective Energy and Material Resources*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2013. 689 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-39244-3>
18. Шустов Б.М. Космические ресурсы для развития экономики и науки. *Воздушно-космическая сфера*. 2019;(4):46–55. <https://doi.org/10.30981/2587-7992-2019-101-4-46-54>
Shustov B.M. Space resources for industry and science. *Aerospace Sphere Journal*. 2019;(4):46–55. (In Russ.) <https://doi.org/10.30981/2587-7992-2019-101-4-46-54>
19. Брюханов Н.А., Легостаев В.П., Лобыкин А.А., Лопота В.А., Сизенцев Г.А., Синявский В.В. и др. Использование ресурсов Луны для исследования и освоения Солнечной системы в XXI веке. *Космическая техника и технологии*. 2014;(1):3–14.
Brukhanov N.A., Legostaev V.P., Lobykin A.A., Lopota V.A., Sizentsev G.A., Sinyavskiy V.V. et al. Use of lunar resources for solar system exploration and exploitation in the 21st century. *Space Engineering and Technology*. 2014;(1):3–14. (In Russ.)
20. Лемешевский С.А., Графодатский О.С., Ширшаков А.Е., Москати́ньев И.В., Митькин А.С., Балиев А.В. Космическая транспортная система для освоения малых космических тел. *Вестник НПО им. С.А. Лавочкина*. 2018;(2):47–55.
Lemeshevskii S.A., Graphodatsky O.S., Shirshakov A.E., Moskatiniev I.V., Mitkin A.S., Baliyev A.V. Space transport systems for industrial and scientific development of small celestial bodies. *Vestnik NPO im. S.A. Lavochkina*. 2018;(2):47–55. (In Russ.)
21. Chpolianski D., Zhang Z.X. Review on quarrying methods suitable for space mining missions. *Journal of Sustainable Mining*. 2024;23(2):8. Available at: <https://oulu.repo.oulu.fi/handle/10024/48711> (accessed: 24.06.2024).
22. Satish H., Radziszewski P., Ouellet J. A review of mining technologies for space. In: *Proceedings of the Canadian Design Engineering Network (CDEN) Conference, Kaninaskis, Alberta, July 18–20, 2005*. <https://doi.org/10.24908/pceea.v0i0.3879>
23. Mueller R.P., Van Susante P.J. A review of extra-terrestrial mining robot concepts. In: *Earth and Space 2012 – Proceedings of the 13th ASCE Aerospace Division Conference and the 5th NASA/ASCE Workshop on Granular Materials in Space Exploration, April 15–18 2012, USA*. IEEE; 2012, pp. 295–314. <https://doi.org/10.1061/9780784412190.034>
24. Корнеев В.А. *Способ проведения наклонной штольни для вскрытия лавовых трубок на Луне и Марсе*. Патент РФ. №2787484 С1, МПК E21C 51/00, E21D 9/02, B64G 99/00.: №2022103430: заявл. 10.02.2022: опубл. 09.01.2023.
25. Grandl W., Böck C. Asteroid habitats – living inside a hollow celestial body. In: *Handbook of Space Resources*. Cham: Springer, 2023, pp. 763–785. Available at: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-97913-3_22 (accessed: 07.05.2024).
26. Grandl W. Human life in the Solar System. *REACH*. 2017;5:9–21. <https://doi.org/10.1016/j.reach.2017.03.001>

Информация об авторах

Кирсанов Александр Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры шахтного и подземного строительства, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: AKirsanov@sfu-kras.ru

Вохмин Сергей Антонович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой шахтного и подземного строительства, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: SVokhmin@sfu-kras.ru

Курчин Георгий Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры шахтного и подземного строительства, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: GKurchin@sfu-kras.ru

Волков Евгений Павлович – кандидат технических наук, доцент кафедры подземной разработки месторождений им. Н.Х. Загирова, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: EVolkov@sfu-kras.ru

Information about the authors

Aleksandr K. Kirsanov – Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer of the Department of Mine and Underground Construction, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: AKirsanov@sfu-kras.ru

Sergey A. Vokhmin – Cand. Sci. (Eng.), Head of the Department of Mine and Underground Construction, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: SVokhmin@sfu-kras.ru

Georgy S. Kurchin – Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer of the Department of Mine and Underground Construction, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: GKurchin@sfu-kras.ru

Evgeny P. Volkov – Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer of the Department of Underground Deposit Development named after N.H. Zagirov, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: EVolkov@sfu-kras.ru

Article info

Received: 04.06.2024

Revised: 04.07.2024

Accepted: 11.07.2024

Информация о статье

Поступила в редакцию: 04.06.2024

Поступила после рецензирования: 04.07.2024

Принята к публикации: 11.07.2024

ГЕОМЕМБРАНА КОМПАНИИ «МИАКОМ»: ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ

Специфика разработки месторождений полезных ископаемых состоит в том, что в большинстве случаев только малая часть запасов переходит в полезный продукт, большая часть идет в отходы и складывается в отвалах. Для калийной промышленности 75% руды идет в солеотвалы, при добыче медно-цинковых и прочих руд в хвостохранилище идет до 90% исходной руды. Вот почему вопрос изоляции отходов горного производства с позиции охраны окружающей среды имеет огромное значение. Неоднократные случаи прорыва дамб и других гидротехнических сооружений, вызванных недостаточной изоляцией этих объектов, тому пример.

Одним из наиболее эффективных решений по гидроизоляции отвалов, хвостохранилищ, терриконов является использование геомембран производства ООО «МИАКОМ СПб».

Геомембрана из полиэтилена высокой плотности считается самым высокопрочным и наиболее устойчивым к внешним раздражителям материалом. Она имеет высокий индекс растяжения. Помимо гидроизоляции резервуаров и хранилищ ее часто можно встретить при строительстве искусственных водоемов. Геомембрана успешно контактирует с щелочами, включающими растворители, используемые при кучном выщелачивании, сохраняя свои свойства.

РЕКЛАМА

16+



МИАКОМ
ГРУППА КОМПАНИЙ

МИАКОМ – ведущий производитель геосинтетических материалов с собственными производственными площадками в Ленинградской, Московской, Белгородской областях, а также в Минской области, Республика Беларусь.



197022, Санкт-Петербург,
улица Академика Павлова,
дом 14А, литер Д, офис 401



+7 (812) 309-81-18
Санкт-Петербург



office@miakom.ru

Технические характеристики Геомембраны гладкой «ГММ HD Smooth»

Номинальная толщина, мм, ±10%	1,00
Сырье геомембраны	Полиэтилен высокой плотности (HDPE)
Прочность при разрыве, кН/м, не менее	27
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	700
Предел текучести, кН/м, не менее	15
Относительное удлинение при пределе текучести, %, не менее	12
Прочность на прокол, Н, не менее	320
Сопротивление раздиру, Н, не менее	125
Потеря прочности после 30 циклов замораживания – оттаивания, %, не более	10
Потеря прочности после 90 сут старения при 85°C, %, не более	45
Потеря прочности после 400 ч облучения УФ, %, не более	15
Гибкость на стержне радиусом 5 мм, при температуре минус 60°C	Без дефектов

Примечание:

1. По ГОСТ Р 56586-2015 допускается изготовление геомембраны в амплитуде толщин от 0,75 до 3,0 мм из первичного сырья.
2. Геомембраны поставляются в рулонах шириной до 6,0 м и длиной до 200 м.
3. Цвет геомембраны – черный. По согласованию с заказчиком возможно изготовление геомембраны другого цвета.
4. Возможно изготовление пленки полиэтиленовой толщиной от 0,3 мм до 0,5 мм марки «МИАКОМ», В1с, ГОСТ 10354-82 из сырья HDPE и LLDPE.

Многие горные предприятия России имеют положительный опыт применения геомембраны.

Компания МИАКОМ производит Геомембрану ГММ не только из полиэтилена высокой плотности HDPE, но и из линейного полиэтилена низкой плотности LLDPE.

Помимо представленного образца, мы предлагаем следующие виды геомембран с применением первичного сырья:

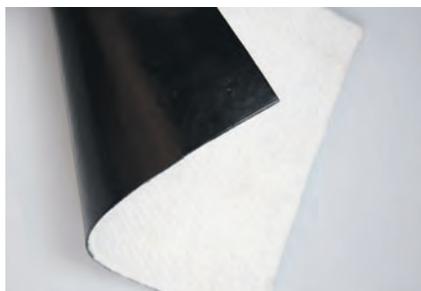


Композитная «ГММ Composite».

Представляет собой геомембрану, скреплённую с одной или с двух сторон с геотекстилем. Данный материал применяется в случаях, когда геомембрану необходимо защитить геотекстилем от механических повреждений.

Текстурированная «ГММ Textured».

Имеет шероховатую поверхность, достигаемую за счет множества выемок. Чаще всего применяется на откосах. Благодаря своей особой текстуре, хорошо удерживает грунтовые и геосинтетические слои и упрощает монтаж.



С сигнальным слоем «ГММ Signal».

Гладкая геомембрана покрытая с одной или двух сторон цветным слоем (чаще всего белым или желтым) для более простого контроля целостности материала. Если в процессе монтажа или эксплуатации образуется повреждение, то оно сразу будет заметно, за счет контраста цветов.

Изучение влияния низких температур окружающего воздуха и морской воды на возможность добычи твердых полезных ископаемых в арктических водах

В.Е. Кисляков, П.В. Катышев, А.Н. Анушенков, Я.Е. Линьков, А.К. Кирсанов ✉
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация
✉ AKirsanov@sfu-kras.ru

Резюме: Арктический континентальный шельф, простирающийся от береговой линии до границы исключительной экономической зоны РФ, является одним из важнейших хранилищ наиболее востребованных твердых полезных ископаемых: россыпи олова, золота, платины и алмазов. Рассеянные в осадочных слоях горных пород, они подчеркивают геологическое богатство этого региона. В статье представлен обзор минерально-сырьевого потенциала, расположенного вдоль арктической континентальной окраины Российской Федерации. Показано среднемесячное значение температур в районе арктического региона по данным реанализа ERA5, который говорит о практически ежегодном отрицательном температурном диапазоне окружающей среды с короткой летней паузой в три месяца. Исследование освещает основные негативные категории влияния отрицательных температур на эксплуатационные характеристики горного оборудования, эффективность и безопасность персонала, а также демонстрирует проблемы общего характера. В статье показаны среднегодовые температуры воздуха и воды в арктической части РФ, на основании которых были определены зоны с различной степенью благоприятных условий для ведения добычных работ. Согласно данному зонированию любое месторождение твердых полезных ископаемых, располагающееся на арктическом континентальном шельфе, должно отрабатываться не только с учетом известных классификаций, базирующихся по глубине залегания полезного ископаемого, но и с учетом критерия возможной продолжительности сезона. На основе данного утверждения была разработана блок-схема, позволяющая недропользователю производить выбор подходящей технологии между конкурирующими вариантами. Представленное исследование может служить контрольным листом для горнодобывающих предприятий, осуществляющих добычу твердых полезных ископаемых подводным способом на территории Крайнего Севера.

Ключевые слова: добыча полезных ископаемых в Арктике, минеральные ресурсы, арктический шельф, экстремальные погодные условия, подводная добыча, технологии разработки шельфовых месторождений

Для цитирования: Кисляков В.Е., Катышев П.В., Анушенков А.Н., Линьков Я.Е., Кирсанов А.К. Изучение влияния низких температур окружающего воздуха и морской воды на возможность добычи твердых полезных ископаемых в арктических водах. *Горная промышленность*. 2024;(4):81–88. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-81-88>

Study of the impact of low ambient air and seawater temperatures on the possibility of mining solid minerals in arctic waters

V.E. Kislyakov, P.V. Katyshev, A.N. Anushenkov, Ya.E. Linkov, A.K. Kirsanov ✉
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation
✉ AKirsanov@sfu-kras.ru

Abstract: The Arctic continental shelf, extending from the coastline to the border of the exclusive economic zone of the Russian Federation, is one of the most important storages of the most sought-after solid minerals: placers of tin, gold, platinum and diamonds scattered in sedimentary rock layers emphasize the geological wealth of this region. This article presents an overview of the mineral resource potential located along the Arctic continental margin of the Russian Federation. The paper shows the monthly average temperatures in the Arctic region using ERA5 reanalysis data, which indicates a negative ambient temperature range almost all the year round, with a short summer pause of 3 months. The study highlights the main negative categories of subzero temperature effects on mining equipment performance, efficiency and personnel safety, as well as demonstrating general challenges. The paper demonstrates average annual air and water temperatures in the Arctic part of the Russian Federation, based on which zones with different degrees of favorable conditions for mining operations were determined. According to this zoning, any deposit of solid minerals located on the Arctic continental shelf should be developed not only taking into account the known classifications based on the depth of the mineral occurrence, but also the criterion of the possible duration of the season. Based on this assertion, a flowchart has been developed to allow a subsoil user to select a suitable technology among the competing options. The presented study can serve as a checklist for mining companies engaged in subsea mining of solid minerals in the Far North.

Keywords: Arctic mining, mineral resources, Arctic shelf, extreme weather conditions, underwater mining, offshore field development technologies

For citation: Kislyakov V.E., Katyshev P.V., Anushenkov A.N., Linkov Ya.E., Kirsanov A.K. Study of the impact of low ambient air and seawater temperatures on the possibility of mining solid minerals in arctic waters. *Russian Mining Industry*. 2024;(4):81–88. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-81-88>

Введение

Арктический регион – обширная область, под ледяными водами которого скрываются значительные запасы твёрдых полезных ископаемых. По мере роста глобального спроса на основные ресурсы – редкоземельные элементы, золото, полиметаллы, железомарганцевые конкреции и т. д. (рис. 1) [1–5], привлекательность нетронутых минеральных богатств Арктики становится всё более очевидной [6].

Рассмотренные на рис. 1 месторождения с запасами критических полезных ископаемых представляют собой широкий спектр важнейших элементов, которые вносят значительный вклад в экономический и промышленный ландшафт страны, поскольку востребованы обществом в различных формах, будь то строительство, ювелирное дело или создание новых наукоёмких технологий, необ-

ходимых для потребления человеком. Таким образом, потребность в них растёт с каждым днём, поскольку население увеличивается быстрыми темпами [8; 9].

Вместе с тем такое перспективное направление, как подводная добыча твёрдых полезных ископаемых, может быть осложнено целым рядом преград, включая суровые природные условия, сложное строение арктического шельфа, отдалённость цивилизации, уязвимость экосистем и др. Одной из основных частей данных преград является влияние низких температур, которые пронизывают атмосферу и арктические воды, тем самым усложняя процесс добычи.

Таким образом, данная работа направлена на то, чтобы раскрыть взаимосвязь между отрицательными температурами и процессом добычи твёрдых полезных ископаемых со дна арктического шельфа.



Рис. 1
Карта твёрдых полезных ископаемых, расположенных на арктическом шельфе РФ
Источник: Составлено авторами на основе данных [5; 7]

Fig. 1
Map of solid minerals located on the Arctic shelf of the Russian Federation
Source: Compiled by the authors on the basis of data [5; 7]

Методология

В исследовании был использован комплексный подход для анализа информации:

1. *Выбор района исследования* и сбор актуальных данных. В качестве региона исследования температурных режимов была выбрана арктическая зона Российской Федерации.

2. *Обзор научно-технической литературы* (анализ информации в научных базах данных, академических журналах и авторитетных онлайн-источниках). Анализ температуры окружающей среды проводился с использованием данных, полученных из Межведомственной федеральной системы «Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане» (ЕСИМО) по пяти электронным атласам морей арктической зоны, омывающих берега РФ – Баренцево море, Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море и Чукотское море¹.

3. *Обобщение и анализ полученных данных* (структурирование информации). В ходе исследования авторами был выполнен анализ расчётов климатических характеристик воздушной и морской среды открытого моря с применением карт расчётных гидрометеорологических и океанографических полей на приповерхностном уровне морей, где в табличном виде по всем одноградусным квадратам и станциям вековых разрезов приводится статистика среднемесячных экстремальных значений параметров на стандартных горизонтах с повторяемостью значений параметров по многолетним месяцам и их годовой ход.

Недостающая часть значений параметров воздушной среды была принята и проанализирована из таблично-графических материалов климатических характеристик прибрежной зоны, содержащих расчётные данные средних и экстремальных значений параметров и их повторяемость по многолетним месяцам, а также межгодовой изменчивости параметров. Непосредственно в качестве точек оценки в прибрежной зоне были выбраны метеостанции интересующей акватории, максимально территориально приближенные к области со значениями открытого моря, такие как Остров Котельный, Мыс Кигиля, Остров Дунай, море Лаптевых и посёлок Уэлен Чукотского моря.

Всего в ходе исследования авторами были проанализированы значения 195 764 наблюдений за температурой морской воды и 882 237 наблюдений за температурой воздуха открытого моря, а также 45 697 наблюдений по данным береговых метеостанций.

4. *Определение дальнейших перспектив* (составление выводов). На основании проведённого исследования авторами была составлена укрупнённая категоризация проблем, с которыми сталкивается горнодобывающая промышленность в условиях отрицательных температур окружающего воздуха, а также выявлены закономерности, позволяющие обосновать технологию добычи твёрдых полезных ископаемых в условиях низких температур.

Результаты и обсуждение

Изучение влияния низких температур окружающего воздуха

На рис. 2 графически показаны среднемесячные значения температуры воздуха в Арктике по данным реанализа за ERA5 (усреднённая область к северу от 70° с. ш.).



Рис. 2
Средняя температура воздуха в Арктике в 2023 г.

Источник: Составлено авторами по данным: Monthly Arctic Temperature. Available at: <https://zacklabe.com/arctic-temperatures/> (accessed: 20.01.2024).

Fig. 2
Average air temperature in the Arctic in 2023

Source: Compiled by the authors according to: 11. Monthly Arctic Temperature. Available at: <https://zacklabe.com/arctic-temperatures/> (accessed: 20.01.2024).

Согласно представленному анализу за 2023 г. (см. рис. 2) можно заключить, что преобладание низких температур в рассматриваемом регионе будет создавать множество сложностей, которые повлияют на все аспекты производства подводных горных работ.

Известно, что для извлечения полезных ископаемых из земных недр необходимо горное оборудование, которое, как и любая техника, подвержено поломкам и выходам из строя. Так, например, в исследованиях многих учёных отмечается, что работоспособность горных машин и оборудования в регионах с преобладающими низкими температурами значительно снижается, – учащаются поломки в рабочих узлах, усложняются процессы ремонта и т. д. [10–16]. Данный факт не только нарушает плавный ход горных работ, но и ставит под сомнение экономическую целесообразность и устойчивость добычи полезных ископаемых в таких сложных условиях.

Учитывая существующие проблемы, возникающие в результате воздействия низких температур на горную технику, особенно в таком регионе, как российская Арктика, разведка и разработка месторождений на дне арктического шельфа требует взвешенного и стратегического подхода. Проблемы, связанные с низкими температурами, существенно влияют на целесообразность и эффективность подводной добычи полезных ископаемых, а их учёт может заложить основу для устойчивого и эффективного подхода к разработке таких месторождений.

На основе анализа профильной научно-технической литературы авторами категоризированы основные негативные проявления отрицательных температур окружающего воздуха, способные усложнить добычу твёрдых полезных ископаемых со дна арктического шельфа (рис. 3).

Согласно представленной категоризации (см. рис. 3) к основным проблемам можно отнести те, которые связаны непосредственно с эксплуатационными характеристиками оборудования, с влиянием низких температур на работу человека, а также проблемы общего характера. По сути, данные укрупнённые категории служат контрольным листом для горнодобывающей промышленности по

¹ Атлас «Климат морей России и ключевых районов Мирового океана». Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане. Режим доступа: http://www.esimo.ru/atlas/index_atlas.html (дата обращения: 23.03.2024).



Рис. 3
Категоризация проблем, с которыми сталкивается горнодобывающая промышленность при наличии отрицательных температур окружающего воздуха

Fig. 3
Categorization of challenges that the mining industry faces in the presence of sub-zero ambient air temperatures

выявлению и дальнейшему преодолению проблем, связанных с экстремальными холодами.

Таким образом, дальнейшее проведение исследований в этом направлении позволит заинтересованным сторонам в горнодобывающей промышленности выявить конкретные проблемы, определить приоритетные области для дополнительного детального изучения, а также разработать комплексные стратегии, учитывающие сложную взаимосвязь между различными факторами в контексте отрицательных температур окружающей среды.

Изучение влияния низких температур морской воды

При начале планирования разработки того или иного месторождения со дна арктического шельфа одним из ключевых аспектов является определение продолжительности сезона работ. На продолжительность сезона напрямую влияют такие климатические показатели, как температура окружающего воздуха и морской воды на околонулевым горизонте мирового океана. Так, например, резкое понижение температуры воздуха и следующее за ним понижение температуры воды ниже точки её замерзания приводит к образованию льда на поверхности [17; 18], что сначала затрудняет проведение работ, а в конечном итоге делает практически невозможной работу без специальных мероприятий или средств.

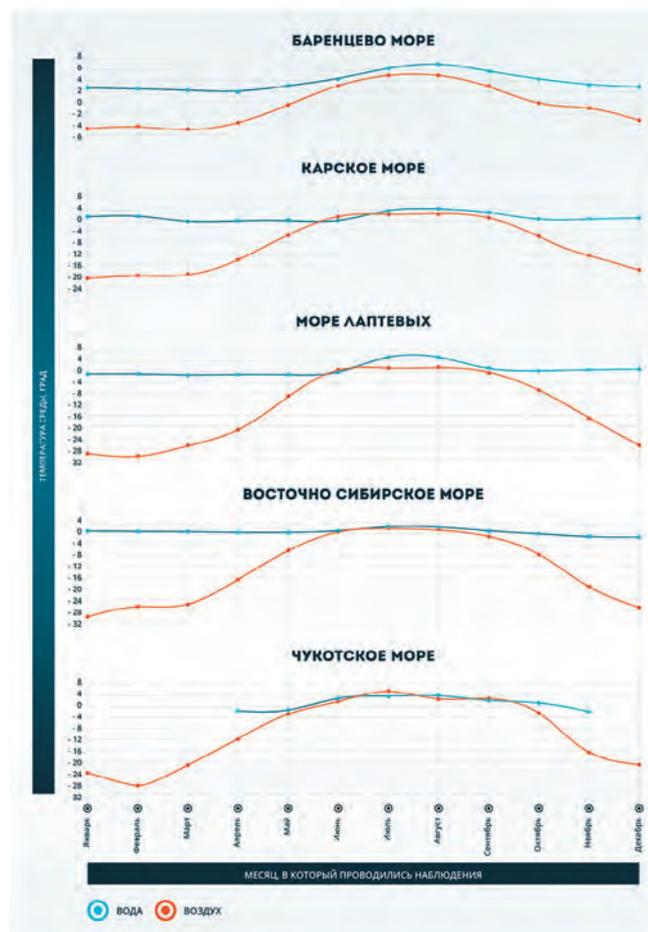


Рис. 4
Зависимость температуры морской воды и воздуха в течение года в морях арктической зоны РФ

Fig. 4
Correlation between the sea water and air temperature during the year in the seas of the Arctic zone of the Russian Federation

Ниже приведены закономерности, полученные по результатам данных анализа изменений температуры на контакте двух сред: воздушной и морской. Этот обширный массив данных составил основу проведённого авторами анализа, охватывая температурные колебания морей арктической зоны (Баренцево море, Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море и Чукотское море). На основе проведённого исследования были выявлены закономерности и тенденции, которые в значительной мере окажут влияние на обоснование технологических аспектов при разработке твёрдых полезных ископаемых арктического шельфа.

Взаимосвязь между периодом года и температурой окружающей среды – основополагающая при определении продолжительности добычного сезона. Необходимо отметить, что климатические условия, существенно изменяющиеся в зависимости от географической долготы, оказывают непосредственное влияние на принимаемые методы добычи. Географическая долгота (наряду с другими географическими особенностями) обуславливает различные климатические зоны, которые, в свою очередь, определяют целесообразность и эффективность применения тех или иных технологий добычи, применяемых в данном регионе.

Чтобы проиллюстрировать этот момент, на рис. 4 показан динамический характер колебаний температуры в

разные периоды года на рассматриваемых морях арктической зоны РФ. Это визуальное представление не только подчёркивает временные колебания температуры, но и служит основой для понимания нюансов влияния климатического разнообразия на технологии добычи полезных ископаемых.

Анализируя приведённые графики, можно сделать вывод, что месяцы с положительными температурами двух сред неоднородны и значительно изменяются между морями. Для каждого из морей явно выражена зона с наиболее благоприятными условиями при проведения добычных работ: так, для Карского моря, моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря эта зона начинается с точки пересечения двух графиков в весенне-летнем периоде и заканчивается при достижении отрицательных температур водной и воздушной среды при плавном понижении в отрицательные значения осенью. Что касается Баренцева и Чукотского морей, эта зона явно не выражена, но может быть определена резким повышением температур воздуха начиная с мая и значительным снижением температур воздуха в ноябре-декабре.

В контексте подводных горных работ, в частности, добычи твёрдых полезных ископаемых, эти выводы имеют практическое значение: стабильные положительные температуры определяют сезонную продолжительность ведения горных работ в конкретной акватории арктической зоны.

На основе ранее представленных наблюдений была получена зависимость среднегодовой температуры воздуха и воды на нулевом горизонте наблюдений для каждого из представленных морей, с запада на восток, согласно их географической долготы (рис. 5).

Анализируя полученную информацию (см. рис. 5),

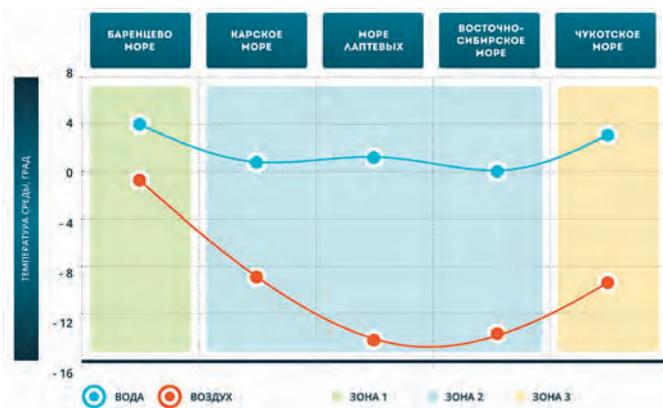


Рис. 5
Распределение среднегодовых температур морской воды и воздуха арктической зоны

Fig. 5
Distribution of mean annual sea water and air temperatures in the Arctic zone

можно отметить, что среднегодовые температуры с запада на восток изменяются по дуге, где для Баренцева и Чукотского морей характерно значимое повышение температур морской воды относительно центральной зоны с практически неизменными средними значениями года на протяжении 3000 км водной глади. Подобная ситуация складывается и с температурой окружающего воздуха, где в рассматриваемых точках наблюдается тренд к повышению, хотя абсолютные показатели для Чукотского

морья остаются ещё достаточно низкими. Это напрямую связано с действием тёплых течений, проникающих в рассматриваемые регионы из Тихого и Атлантического океанов [19; 20]. Что касается средней части зависимости (Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море), то для неё характерно значительное расхождение рассматриваемых показателей, что обуславливается отсутствием каких-либо тёплых течений и более пресными водами, чем воды мирового океана [21]. Всё это приводит к замедлению процессов смешивания с соседними морями и плотностному расслоению, что, в свою очередь, порождает интенсивное образование льда в осенний период и длительное его таяние весной и летом.

В контексте добычи твёрдых полезных ископаемых этот вывод имеет практическое значение: схожие месторождения по горно-геологическим условиям, находясь на различной географической долготе, по всей исключительной экономической зоне РФ в Арктике будут иметь отличительные особенности в технологии отработки, связанные с колебанием температур водной и воздушной сред в течение года.

Таким образом, можно условно выделить три зоны, с запада на восток, от 50 град в.д. в Баренцевом море до 140 град з.д. в Чукотском море (см. рис. 5) по принципу сближенных показателей температур воздушной и морской сред:

- зона 1 – благоприятные условия ведения добычных работ;
- зона 2 – неблагоприятные условия ведения добычных работ;
- зона 3 – слабо благоприятные условия ведения добычных работ.

Крайние точки при оконтуривании зоны 1 и зоны 3 получены методом экстраполяции и вынесены на половину расстояния между соседними значениями. Внутренние границы получены методом интерполяции.

Исходя из вышесказанного можно предположить, что для разных рассматриваемых зон могут быть применимы различные технологии добычи. Авторами была разработана методика, позволяющая ранжировать конкурирующие технологии при разработке шельфовых месторождений в конкретном районе Арктики по критерию продолжительности сезона.

Продолжительность сезона рассматриваемой технологии в конкретных климатических условиях – начисленные баллы варьируется в диапазоне от 1 до 12 – по продолжительности добычного сезона в месяцах.

Месторождение полезных ископаемых, находясь в определённой точке арктического шельфа в проанализированном диапазоне, становится приурочено к одной из трёх зон, рассмотренных ранее (см. рис. 5). Далее на основе горно-геологических условий и известного подхода к выбору технологий отработки месторождений по условию глубины залегания участка недр на дне акватории [22; 23] выделяются конкурентные варианты. Затем экспертными оценками для каждой технологии по предложенному критерию назначаются баллы. По максимальному количеству начисленных баллов определяется целесообразность применения технологии в рассматриваемой зоне. Если две и более технологии в результате анализа набирают одинаковое количество баллов по критерию продолжительности сезона, то окончательный выбор технологии производится исходя из показателей экономической эффективности.

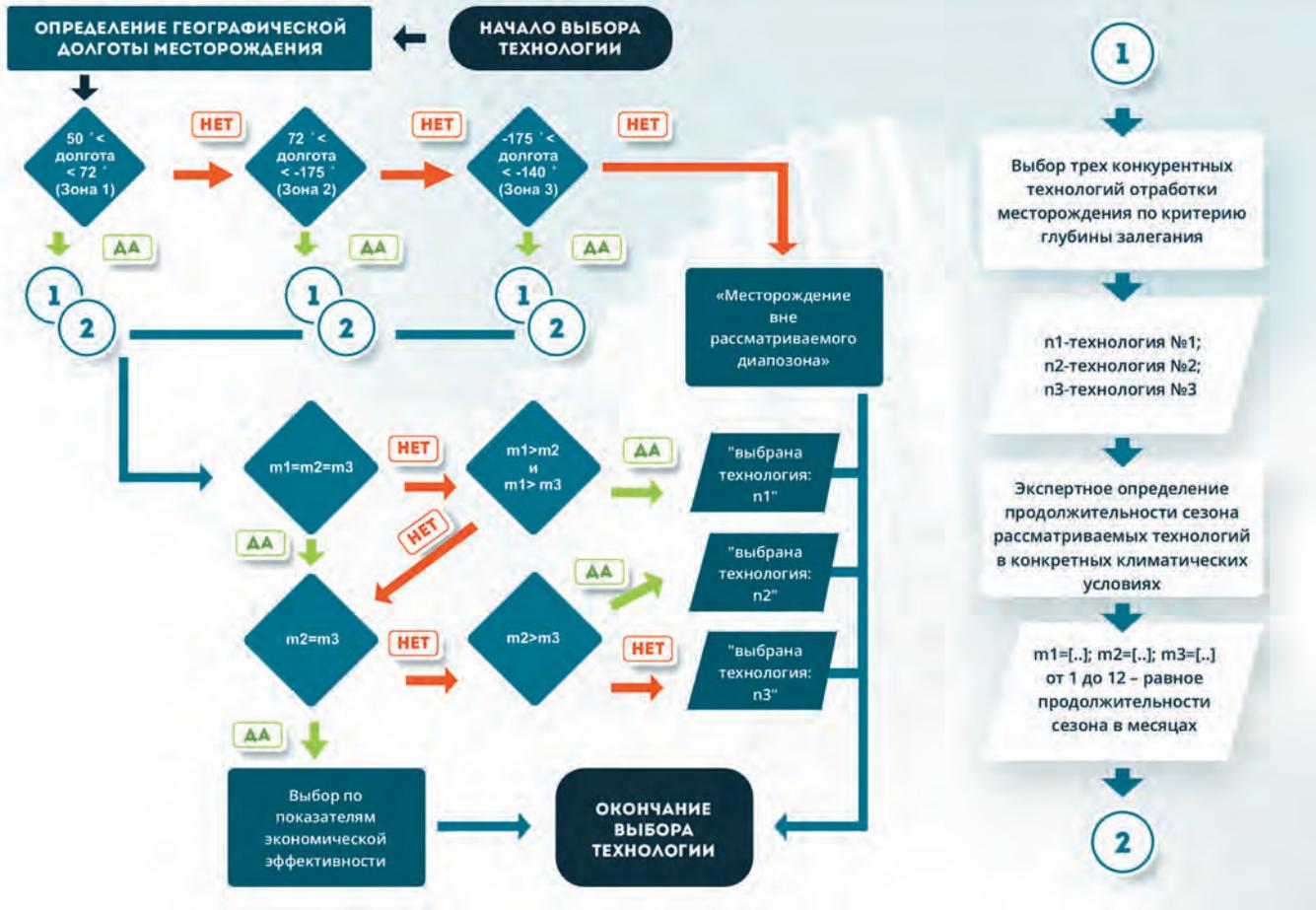


Рис. 6
Блок-схема по выбору технологии разработки шельфовых месторождений твёрдых полезных ископаемых в арктических водах

Fig. 6
Block diagram on the selection of technology for the development of offshore solid mineral deposits in Arctic waters

На рис. 6 представлена блок-схема по выбору технологии для разработки шельфовых месторождений твёрдых полезных ископаемых в арктических водах.

Представленная методика поможет недропользователям произвести выбор подходящей технологии между конкурирующими вариантами.

Заключение

В заключение следует отметить, что всестороннее изучение каждой из представленных проблем, с которыми сталкивается горнодобывающая промышленность при работе в условиях отрицательных температур окружающей среды, даёт представление о возможных способах их решения.

На основе вышеизложенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Представленная категоризация проблем, осложняющих развитие горнодобывающей отрасли в арктическом регионе при пониженных температурах окружающего воздуха (см. рис. 3), демонстрирует комплекс взаимосвязанных сложностей, где решение одного подфактора часто требует рассмотрения множества смежных аспектов. Это предполагает заблаговременный учёт и разработку мер преодоления перечисленных проблем, каждая из которых может являться темой отдельного научного исследования.

2. Выявлены закономерности и тенденции по температурному фактору для пяти морей Арктики (Баренцево море, Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море и Чукотское море) в исключительной экономической зоне РФ. Это позволит проводить планирование будущих подготовительных и добычных работ на основе знания о продолжительности благоприятного климатического периода в конкретной области Арктики.

3. Выполнено зонирование морей арктических территорий с запада на восток согласно их географической долготы (см. рис. 5). Это позволило получить границы между зонами со схожими температурными значениями. Опираясь на результаты данного исследования, можно проводить выбор технологии обработки месторождения, учитывая его географическое положение.

4. Разработана блок-схема пошаговых действий при ранжировании конкурентных вариантов технологий обработки (см. рис. 6).

Список литературы / References

1. Мухарев А.А., Кубрин С.С. Вопросы детальной разведки твердых полезных ископаемых и ее маркшейдерское сопровождение на шельфе Арктики. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2016;(2):231–235. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2016/2/231_235_2_2016.pdf (дата обращения: 29.05.2024).
Mukharev A.A., Kubrin S.S. Questions detailed exploration of solid minerals and surveying its support on the Arctic shelf. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 016;(2):231–235. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2016/2/231_235_2_2016.pdf (accessed: 29.05.2024).
2. Мухарев А.А. Кубрин С.С. Маркшейдерское и навигационное обеспечение разработки твердых полезных ископаемых на шельфе Арктики. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(8):106–112. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2015/08/106-112_8_2015.pdf (дата обращения: 29.05.2024).
Mukharev A.A., Kubrin S.S. Surveying and navigation support the development of solid minerals on the Arctic shelf. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2015;(8):106–112. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2015/08/106-112_8_2015.pdf (accessed: 29.05.2024).
3. Иванова А.М., Смирнов А.Н., Ушаков В.И. Минерально-сырьевая база твердых полезных ископаемых шельфовых областей России: ресурсная значимость, перспективы наращивания и освоения. *Горный журнал*. 2012;(3):42–49. Режим доступа: <https://www.rudmet.ru/journal/675/article/8724/> (дата обращения: 29.05.2024).
Ivanova A. M., Smirnov A. N., Ushakov V. I. Sources of the mineral raw materials of the sea shelf areas of Russia (solid minerals): resource value, perspectives for growth and development. *Gornyi Zhurnal*. 2012;(3):42–49. (In Russ.) Available at: <https://www.rudmet.ru/journal/675/article/8724/> (accessed: 29.05.2024).
4. Смирнов А.Н., Иванова А.М., Пашковская Е.А. Подводные месторождения твердых полезных ископаемых в шельфовых областях России. *Горный журнал*. 2013;(11):51–58. Режим доступа: <https://www.rudmet.ru/journal/1246/article/21186/> (дата обращения: 29.05.2024).
Smirnov A.N., Ivanova A.M., Pashkovskaya E.A. Underwater deposits of solid minerals in Russian shelf areas. *Gornyi Zhurnal*. 2013;(11):51–58. (In Russ.) Available at: <https://www.rudmet.ru/journal/1246/article/21186/> (accessed: 29.05.2024).
5. Каминский В.Д., Супруненко О.И., Смирнов А.Н. Минерально-сырьевые ресурсы арктической континентальной окраины России и перспективы их освоения. *Арктика: экология и экономика*. 2014;(3):52–61. Режим доступа: <http://arctica-ac.ru/article/249/> (дата обращения: 29.05.2024).
Kaminsky, V.D., Suprunenko, O.I., Smirnov, A.N. Mineral resources of the Russian Arctic continental margin and prospects for their development. *Arctic: Ecology and Economy*. 2014;(3):52–61. (In Russ.) Available at: <http://arctica-ac.ru/article/249/> (accessed: 29.05.2024).
6. Kirsanov A.K., Katyshev P.V. Economic drivers of seabed mining. *Izvestiya vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal*. 2024;(1):20–26. Available at: <https://www.mining-science.ru/download/2024/1-2024/002.pdf> (accessed: 24.06.2024).
7. Smirnov A.N., Babaeva S., Manevich A.I. *Russian Arctic shelf mineral resource potential*. Paper No. 3286. Available at: <https://www.americangeosciences.org/sites/default/files/igc/3286.pdf> (accessed: 21.04.2024).
8. Стоцкая Д.Р. Демографические проблемы. Рост числа населения планеты. *Наука через призму времени*. 2020;(8):40–42. Режим доступа: <http://www.naupri.ru/journal/2638> (дата обращения: 29.05.2024).
Stotskaya D.R. Demographic problems. Global population growth. *Nauka Cherez Prizmu Vremeni*. 2020;(8):40–42. (In Russ.) Available at: <http://www.naupri.ru/journal/2638> (accessed: 29.05.2024).
9. Абдушева Е.А. Рост населения Земли как угроза для планеты. *Международный журнал Наука Плюс*. 2020;(1):87–90.
Abdusheva E.A. Earth's population growth as a threat to the planet. *International Journal Science Plus*. 2020;(1):87–90. (In Russ.)
10. Квагинидзе В.С., Козлов В.А. Влияние низких отрицательных температур на работоспособность металлоконструкций горных машин. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2003;(9):16–18.
Kvaginidze V.S., Kozlov V.A. Influence of low negative temperatures on serviceability of metal structures of mining machines. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2003;(9):16–18. (In Russ.)
11. Охлопков Т.Н. Влияние низких температур на тепловой режим гидроагрегатов автогрейдера ДЗ-98. *Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета*. 2020;17(3):316–327. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-3-316-327>
Okhlopkov T.N. Low temperatures effect on thermal conditions of DZ-98 autograder hydraulic units. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020;17(3):316–327. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-3-316-327>
12. Голубев И.А. Исследование причин нарушения работоспособности узлов горной техники в условиях Арктики и Северо-Востока. В кн.: *Актуальные научные исследования: сб. ст. 11-й Междунар. науч.-практ. конф., г. Пенза, 5 апр. 2023 г.* Пенза: Наука и просвещение; 2023. С. 75–79.
Golubev I.A. Research of the causes of disturbance of the functionality of mining equipment unit in the conditions of the Arctic and the North-East. In: *Current scientific research: Collection of articles. 11th International Scientific and Practical Conference, Penza, April 5, 2023*. Penza: Nauka i prosveshchenie; 2023, pp. 75–79. (In Russ.)
13. Тоскунин И.С. Основные неисправности и особенности подготовки тяжелой техники на примере карьерного самосвала БЕЛАЗ 75131 в условиях Крайнего Севера. *Научный взгляд в будущее*. 2019;1(14):67–71.
Toskunin I.S. The main malfunctions and features of the preparation of heavy machinery on the example of the dump truck Belaz 75131 in the Far North. *Scientific Look into the Future*. 2019;1(14):67–71. (In Russ.)
14. Нафиков Р.З., Кисляков В.Е. *Технология дражной разработки россыпных месторождений в условиях Крайнего Севера*: монография. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2021. 184 с.

15. Чооду О.А. Опыт эксплуатации и эффективность применения горных и горнотранспортных машин северного исполнения. *Вестник Тувинского государственного университета. Вып. 3. Технические и физико-математические науки.* 2022;(2):27–33.
Choodu O.A. Operational experience and efficiency of the use of mining and mining transport machines of northern design. *Vestnik of Tuvan State University. Issue 3. Technical Sciences, Physical and Mathematical Sciences.* 2022;(2):27–33. (In Russ.)
16. Ivanov S.L., Ivanova P.V., Kuvshinkin S.U. Weather conditions as a factor affecting the performance of modern powerful mining excavators. *Journal of Physics: Conference Series.* 2019;1399:044070. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/4/044070>
17. Данилов А. Арктика: обеспечение гидрометеорологической безопасности освоения. *Деловой журнал Neftegaz.RU.* 2012;(11):С. 58–63.
Danilov A. The Arctic: ensuring hydrometeorological safety of development. *Delovoy Zhurnal Neftegaz.RU.* 2012;(11):С. 58–63. (In Russ.)
18. Корнишин К.А. *Обеспечение защиты от айсберговой угрозы объектов обустройства нефтегазовых месторождений арктического шельфа: дис. канд. техн. наук.* М.; 2022. 109 с.
19. Трофимов А.Г. Современные тенденции изменения океанографических условий Баренцева моря. *Труды ВНИРО.* 2021;186:101–118. <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2021-186-101-118>
Trofimov A.G. The current trends in oceanographic conditions of the Barents Sea. *Trudy VNIRO.* 2021;186:101–118. (In Russ.) <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2021-186-101-118>
20. Якшина Д.Ф., Голубева Е.Н. Исследование климатических изменений в Чукотском море и море Бофорта на основе численного моделирования. *Фундаментальная и прикладная гидрофизика.* 2022;15(2):60–75. <https://doi.org/10.59887/fpg/zkvg-71uu-xk44>
Iakshina D.F., Golubeva E.N. Recent Climatic Change Research in the Chukchi and Beaufort Seas Based on Numerical Simulation. *Fundamental and Applied Hydrophysics.* 2022;15(2):60–75. <https://doi.org/10.59887/fpg/zkvg-71uu-xk44>
21. Линьков Я.Е., Кисляков В.Е., Кирсанов А.К., Катышев П.В. Раскрытие взаимосвязи между свойствами морской воды и добычей полезных ископаемых со дна арктического шельфа. *Маркшейдерия и недропользование.* 2024;(1):10–16.
Linkov Ya.E., Kislyakov V.E., Kirsanov A.K., Katyshev P.V. Uncovering the relationship between seawater properties and mineral extraction from the arctic shelf floor. *Mine Surveying and Subsurface Use.* 2024;(1):10–16. (In Russ.)
22. Ржевский В.В., Нурок Г.А. *Технология добычи полезных ископаемых со дна озер, морей и океанов.* М.: Недра; 1979. 381 с.
23. Козлов М.Ю. *Совершенствование технологий гидродождения при освоении шельфовых месторождений железомарганцевых конкреций на основе исследования гидродинамических процессов: дис. канд. техн. наук.* М.; 2016. 147 с.

Информация об авторах

Кисляков Виктор Евгеньевич – доктор технических наук, профессор кафедры открытых горных работ, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: VKislyakov@sfu-kras.ru

Катышев Павел Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры открытых горных работ, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: PKatyshev@sfu-kras.ru

Анущенков Александр Николаевич – доктор технических наук, заведующий кафедрой подземной разработки месторождений им. Н.Х. Загирова, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: AAnushenkov@sfu-kras.ru

Линьков Ярослав Евгеньевич – аспирант кафедры открытых горных работ, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: Flash198@mail.ru

Кирсанов Александр Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры шахтного и подземного строительства, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: AKirsanov@sfu-kras.ru

Information about the authors

Victor E. Kislyakov – Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Surface Mining, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: VKislyakov@sfu-kras.ru

Pavel V. Katyshev – Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer of the Department of Surface Mining, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: PKatyshev@sfu-kras.ru

Aleksandr N. Anushenkov – Dr. Sci. (Eng.), Head of the Department of Underground Deposit Development named after N.H. Zagirov, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: AAnushenkov@sfu-kras.ru

Yaroslav E. Linkov – Post-Graduate Student of the Department of Surface Mining, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: Flash198@mail.ru

Aleksandr K. Kirsanov – Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer of the Department of Mine and Underground Construction, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: AKirsanov@sfu-kras.ru

Article info

Received: 02.06.2024

Revised: 04.07.2024

Accepted: 09.07.2024

Информация о статье

Поступила в редакцию: 02.06.2024

Поступила после рецензирования: 04.07.2024

Принята к публикации: 09.07.2024



**Магаданский
механический
завод**



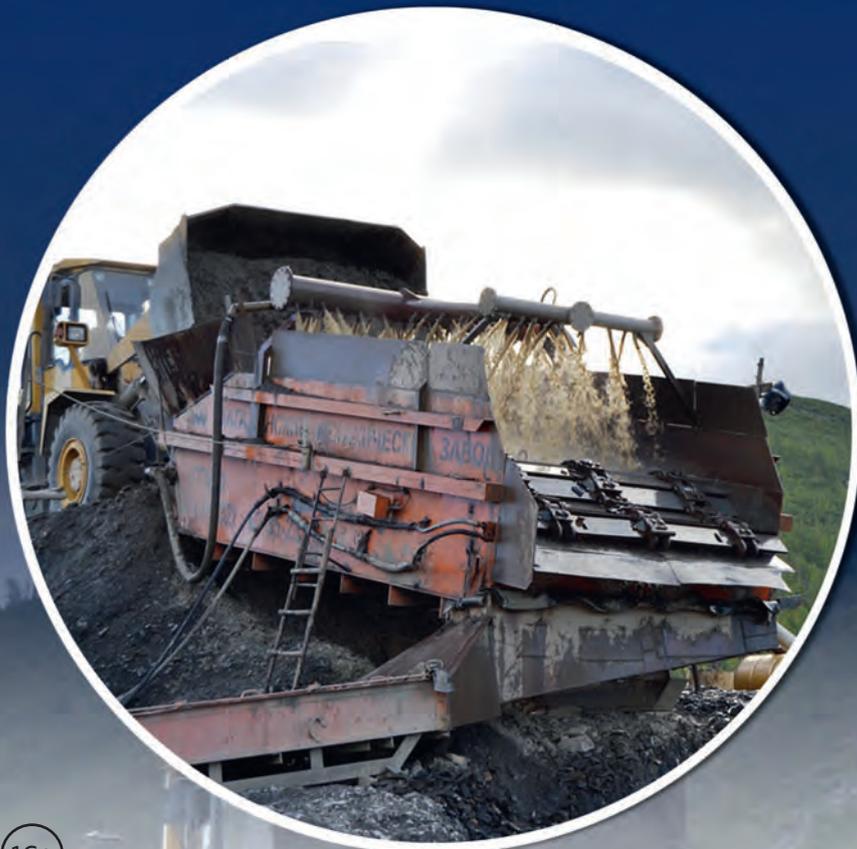
БЫСТРО ПОСТАВЛЯЕМ
В КОНТЕЙНЕРАХ
В ЛЮБУЮ
ТОЧКУ МИРА



ШИРОКАЯ
ГЕОГРАФИЯ
ПОСТАВОК



НАДЕЖНОСТЬ,
ПРОВЕРЕННАЯ ГОДАМИ,
И ПРИЕМЛЕМАЯ
СТОИМОСТЬ

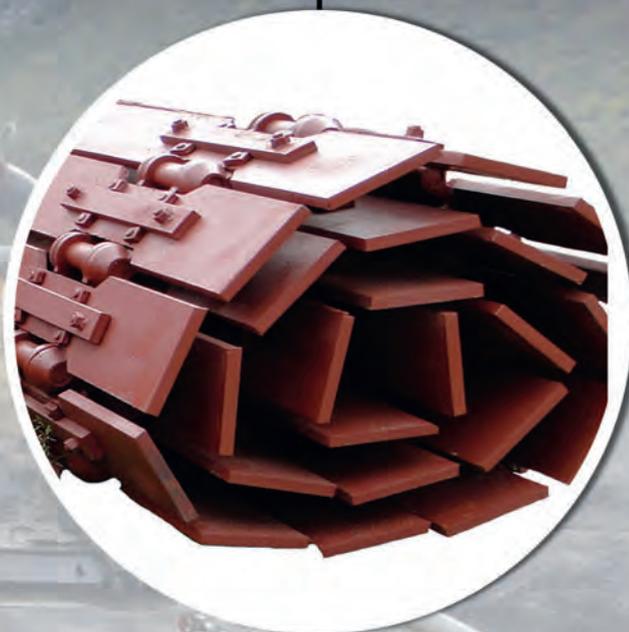


Полотно
из износостойкой
конструкционной стали
с дополнительной
цементацией втулки
цепи HRC до 60ед.

16+

РЕКЛАМА

компактность конструкции,
производительность 70м³/ч
способность промывать пески
с крупными валунами до 1,2м



ГГМ-3

Промывочный прибор на базе пластинчатого грохота

предназначен для промывки и обогащения золото-содержащих песков при бульдозерной разработке продуктивных песков россыпных, валунистых месторождений.

sales@mmzco.ru
mmzco.ru

АО «Магаданский механический завод»
685000, Магадан, ул. Пушкина, 16
Телефоны: +7 (4132) 62-35-23, 62-49-93

Технологии нейронных сетей в интеллектуальном анализе данных гранулометрического состава взорванных пород

В.С. Великанов^{1, 2, 3}✉, А.В. Дремин¹, С.А. Чернухин³, Н.В. Ломовцева⁴

¹ ООО «ДАВТЕХ», г. Екатеринбург, Российская Федерация

² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Российская Федерация

³ Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация

⁴ Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация

✉ v.s.velikanov@urfu.ru

Резюме: В современных условиях развития горнодобывающей отрасли растет роль средств, обеспечивающих и влияющих на скорость принятия решения, эти тенденции уже затронули практически все сферы деятельности и проникают в прикладные области в виде систем искусственного интеллекта. Использование нейронных сетей в технологии интеллектуального анализа данных является актуальным направлением, которое непрерывно развивается. В исследовании решается задача по установлению грансостава взорванных пород с использованием нейросетевых технологий, использована искусственная нейронная сеть U-Net для решения научно-практической задачи, прошедшая обучение и позволяющая по мере накопления ею опыта адаптироваться к происходящим изменениям исходных данных по грансоставу для разных месторождений полезных ископаемых. МЕТОДЫ. При решении поставленных задач использовался комплексный подход, включающий: системный научный анализ и обобщение ранее опубликованных исследований. Для предварительной оценки грансостава использована схема архитектуры U-Net. РЕЗУЛЬТАТЫ. С использованием в качестве аппаратно-программного сопровождения экспериментальных исследований отечественного оборудования компании «Давтех» определены параметры кусковатости взорванной горной массы. ВЫВОДЫ. Полученные в ходе исследования данные позволят разработать рекомендации по оптимизации режимов управления карьерным экскаватором, что в итоге позволит снизить количество отказов рабочего оборудования и увеличит его ресурс.

Ключевые слова: горнодобывающая отрасль, гранулометрический состав, горные породы, взрывные работы, карьерный экскаватор, нейронная сеть

Для цитирования: 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>

Neural network technologies in mining data on particle size distribution of muck pile rocks

V.S. Velikanov^{1, 2, 3}✉, A.V. Dremin¹, S.A. Chernukhin³, N.V. Lomovtseva⁴

¹ DAVTECH LLC, Ekaterinburg, Russian Federation

² Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation

³ Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation

⁴ Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russian Federation

✉ v.s.velikanov@urfu.ru

Abstract: Current development of the mining industry increases the role of tools that support decision making and impact its speed. These trends have already affected almost all spheres of human activities and are expanding into the applied areas as artificial intelligence systems. The use of neural networks in the data mining technology is a current trend that is continuously evolving. The study solves the problem of defining the particle size distribution of muck pile rocks using the neural network technologies. The U-Net artificial neural network was used to solve the scientific and practical problem. This network had been trained to allow it to gain experience and adapt to the ongoing changes in the input data on the particle size distribution for different mineral deposits as it accumulates data. METHODS. A complex approach that included a system scientific analysis and generalization of previously published studies was used in addressing the tasks set. The U-Net architecture was used

for preliminary assessment of the particle size distribution. RESULTS. The lump size parameters of the muck pile rocks were determined using the Russian-made Davtech equipment as the hardware and software support for experimental studies. CONCLUSIONS. The data obtained in the course of the study will make it possible to develop recommendations to optimize the control modes of an open-pit excavator, which will ultimately reduce the number of equipment failures and increase its service life.

Keywords: mining industry, particle size distribution, rocks, blasting, open-pit excavator, neural network

For citation: 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>

Введение

Суммарный объём потребления минерального сырья за последние полвека лет растёт, данный рост обусловлен увеличением численности населения и неуклонным ростом промышленного производства. Удельный вес открытых горных работ в общем объёме добычи полезных ископаемых по оценкам экспертов составляет в мире 72–73%, в США – 83%, в Российской Федерации (РФ) и странах СНГ – порядка 70%. Современное состояние открытой добычи полезных ископаемых на данном этапе развития открытой геотехнологии характеризуется увеличением глубины карьеров, повышением коэффициента вскрыши и чаще всего снижением содержания полезных компонентов [1–4].

Развитие минерально-сырьевой базы РФ определяется добычей стратегически важных полезных ископаемых, к которым относятся прежде всего – уголь, металлические руды (железная руда, медь и др.), т. е. полезные ископаемые первой группы, сырьевая база которых при любых прогнозных сценариях развития экономики достаточна для удовлетворения внутренних потребностей и при необходимости для обеспечения экспортных поставок.

Увеличение объёмов добычи стратегически важных полезных ископаемых влечёт за собой рост спроса на горнодобывающую технику. Мировой рынок горнодобывающей техники устойчиво растёт на 8–10% ежегодно, на долю российских производителей горной техники на отечественном рынке приходится свыше 70% продаж карьерных экскаваторов [1].

Буровзрывные работы (БВР) – это основа горного передела. БВР на карьерах проводятся с целью отбойки и дробления горной массы до требуемой кусковатости. Качество выполнения БВР определяет затраты на механическое дробление и измельчение, которые, как известно, являются наиболее энергозатратными операциями горно-обогатительного производства. В настоящее время усреднённая доля затрат для горнодобывающих предприятий РФ, приходящихся на отбойку горной массы, в зависимости от крепости горных пород находится в пределах 20–35%, причём каждое предприятие устанавливает свои собственные требования к кондиционному куску и, как следствие, к размеру негабарита [5]. На эту величину оказывают влияние следующие факторы: тип применяемого горного и дробильного оборудования (по габаритам технологического оборудования), используемое ВВ, тип и физико-механические свойства полезного ископаемого и т.д. При увеличении объёмов взрывных работ нередко происходит рост выхода негабаритной

фракции (рис. 1) [5; 6]. Это может обуславливаться ухудшением горно-геологических условий по мере увеличения глубины отработки, некорректно подобранными параметрами БВР, что вызвано желанием сократить производственные затраты, и т.д. Данное явление приводит к неконтролируемому росту дополнительных издержек на вспомогательные операции, что в целом негативно сказывается на экономической эффективности горнодобывающего предприятия.

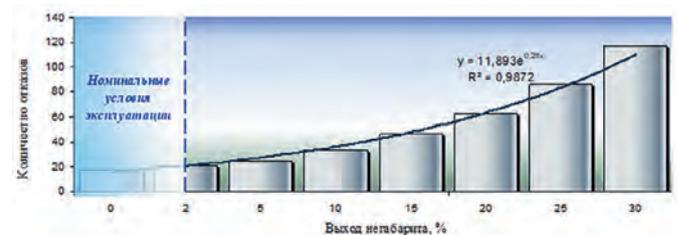


Рис. 1
Изменение количества отказов карьерного экскаватора ЭКГ-32Р от % выхода негабарита горной массы
Источник: [5; 6].

Fig. 1
Changes in the failure rate of the EKG-32R open-pit excavator in relation to the % of the oversized rocks
Source: [5; 6].

Методы

Для оценки влияния качества подготовки забоя на эксплуатационные показатели и техническое состояние металлоконструкций экскаваторов на одном из геодинамических полигонов был проведён производственный эксперимент по определению параметров кусковатости взорванной горной массы, а также контролировалось появление трещин. В качестве аппаратно-программного сопровождения экспериментальных исследований использовано отечественное оборудование компании «Давтех», разработанное в рамках программы импортозамещения высокотехнологичного оборудования. В аппаратно-программном комплексе реализован способ, защищенный патентом [7], определения гранулометрического состава, который заключается в том, что: посредством стереоскопической камеры получают стереоизображение развала горной породы; на основе полученного стереоизображения развала строят объемный рельеф поверхности развала, представляющий собой набор дальностей от матрицы стереоскопической камеры до поверхности выбранных участков развала горной породы и соответствующих им координат на изображении (рис. 2).

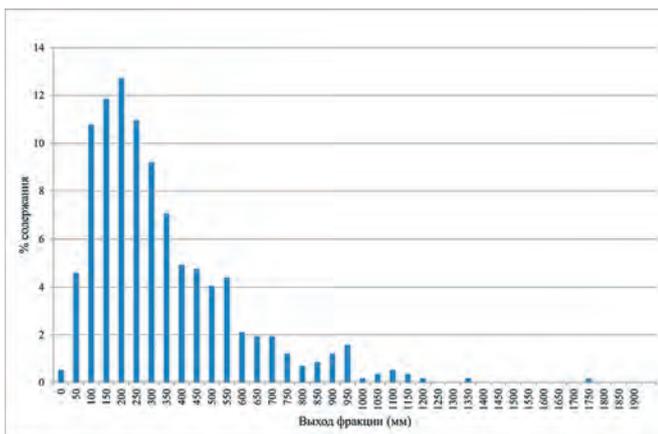
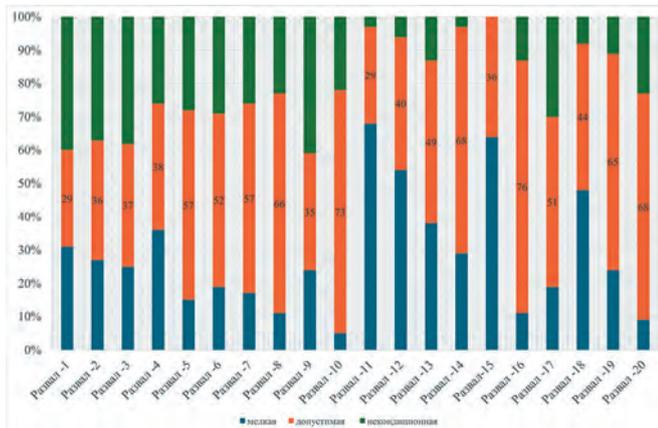


Рис. 2
Результаты производственного эксперимента на геодинамическом полигоне Уральского федерального округа

Fig. 2
Results of the industrial experiment at the geodynamic test site in the Ural Federal District

Результаты и обсуждение

Нейронные сети могут реализовываться как программно, так и аппаратно (нейрочипы, нейрокомпьютеры). В процессе функционирования нейронной сети осуществляется преобразование данных, конкретный вид которого определяется весами межнейронных связей, видом активационной функции нейронов, архитектурой и конфигурацией сети. Нейронные сети представляют собой модели, основанные на машинном обучении, т.е. приобретают необходимые свойства в процессе обучения, который заключается в итеративной подстройке весов сети по некоторому правилу, называемому алгоритмом обучения. Наиболее часто нейронные сети используются для решения следующих задач:

1. Аппроксимация функций – восстановление функциональных зависимостей из обучающих данных.

2. Классификация – определение принадлежности входного образа (объекта), представленного вектором признаков, к одному из предварительно заданных классов.
3. Кластеризация – группировка объектов на основе близости их свойств.
4. Прогнозирование – предсказание значения $y(t_{n+1})$ при заданной последовательности $y(t_1), y(t_2) \dots, y(t_n)$.
5. Оптимизация – нахождение решения, удовлетворяющего системе ограничений и максимизирующего или минимизирующего целевую функцию.
6. Ассоциативная память – память, адресуемая по содержанию, используемая в системах сверхбыстрого поиска.
7. Управление – расчет такого входного воздействия на систему, при котором она следует по желаемой траектории.
8. Распознавание речи и машинный перевод.
9. Обработка изображений.

В качестве дополнительного исследовательского инструментария нами прорабатывался вопрос возможности использования для предварительного анализа развала горной массы сверточной нейронной сети. Она позволяет получать признаки искомым объектов автоматически и классифицировать пиксели с учетом окружающей их области, т. е. учитываются непосредственно свойства самого объекта. Таким образом, повышается робастность алгоритма сегментации к шумам и помехам. Структура модели сверточной нейронной сети параллельна, что делает идеальным применение графических процессоров (GPU) для их обучения [8]. Нами в работе использована архитектура нейронной сети U-Net, показавшая свою эффективность в решении задачи сегментации медицинских изображений. Сеть U-Net показала свою эффективность и в автоматической сегментации спутниковых изображений при малом количестве обучающих данных [8] (рис. 3).

Оригинальная U-Net состоит из двух частей: кодировщика и декодировщика. Кодировщик представляет собой сверточную нейронную сеть, состоящую из пяти блоков.

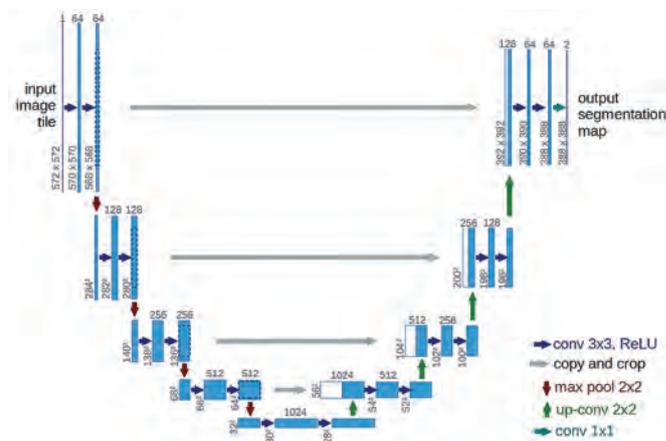


Рис. 3
Схема архитектуры U-Net
Источник: U-Net: нейросеть для сегментации изображений.

Режим доступа: <https://neurohive.io/ru/vidy-nejrosetej/u-net-image-segmentation/9> (дата обращения: 01.07.2024)

Fig. 3
The U-Net architecture diagram
Source: U-Net: neural network for image segmentation.

Available at: <https://neurohive.io/ru/vidy-nejrosetej/u-net-image-segmentation/9> (accessed: 01.07.2024)

Каждый такой блок состоит из двух сверточных слоев с фильтрами 3×3 с функцией активации ReLU и batch normalization, применяемой к каждому из них, а также слоя понижения дискретизации с окном 2×2 . Декодировщик имеет такое же количество блоков, что и кодировщик. Каждый блок декодировщика состоит из слоя повышения дискретизации с окном 2×2 , слияния с соответствующим набором признаков из кодировщика, двух сверточных слоев с фильтрами 3×3 и функцией активации ReLU, примененной к 42 каждому из них. Последний слой использует сигмоидную функцию активации признаков для классификации на уровне пикселей.

В части собственных разработок создание искусственной нейронной сети (ИНС) для решения задач прогнозирования методами нейросетевого анализа предлагается проводить согласно следующей последовательности:

1. Физическая постановка задачи с целью построения обучающих выборок. Основой для создания обучающих выборок могут быть базы данных, содержащие аналитическую информацию по гранулометрическому составу пород на различных месторождениях твердых полезных ископаемых с различными физико-механическими характеристиками пород: часть статистического материала для обработки взята из научно-технических источников, представленных в библиографическом списке, другая – данные по грансоставу с карьеров Уральского федерального округа.

2. Выбор архитектуры, топологии сети, а также выбор алгоритма ее обучения. Предварительная обработка данных и построение обучающих выборок.

3. Обучение, тестирование и возможное «дообучение» сети.

4. Анализ полученных результатов. Исходя из основных положений теории НЛ данные должны быть представлены в виде функций принадлежности. Данный этап называется фазсификацией, которая представляет собой процедуру нахождения значений функций принадлежности входных лингвистических переменных на основе обычных (не нечетких) исходных данных. Для построения модели необходимо определить функции принадлежности каждого параметра $\mu(P1,1)$, $\mu(P1,2)$, ..., $\mu(P2,7)$, а также построить нечеткую базу правил. Для фазсификации привлекаются эксперты (10 человек, средний опыт

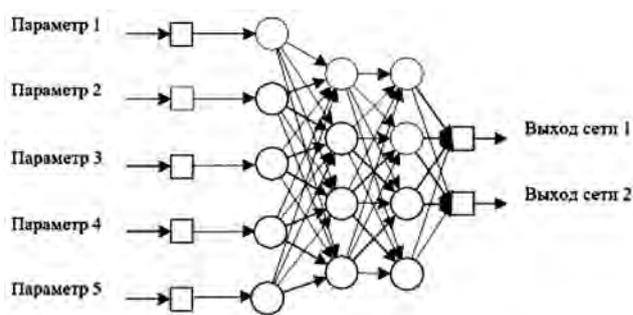


Рис. 4
Искусственная нейронная сеть прогнозирования грансостава в условиях малого объема достоверных исходных данных и неопределенности
Источник: [9]

Fig. 4
Artificial neural network for predicting particle size distribution in conditions of limited amount of reliable input data and high level of uncertainty
Source: [9]

работы 27,4 года). Экспертными методами определены терм-множества и функции принадлежности всех лингвистических переменных (рис. 4) [9].

При исследовании представленной ИНС точность результатов модели была подтверждена путем сопоставления прогноза с фактическими данными о фракционности в развале горных пород.

Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено и доказано, что гранулометрический состав горных пород – это один из основных показателей, влияющих на экономику последующих операций. Комплексные исследования по установлению фактического распределения размеров кусков в развале с использованием технологий нейронных сетей, при условии обеспечения качества дробления взорванной горной массы в забое, определяемого содержанием негабаритного куска не более 3%, позволит разработать рекомендации по рациональным режимам управления карьерным экскаватором.

Список литературы / References

1. 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>
Dremine A.V., Velikanov V.S. Regarding the particle-size composition of blasted rocks. *Russian Mining Industry*. 2023;(4):73–78. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-4-73-78>
2. Маринин М.А., Евграфов М.В., Должиков В.В. Производство взрывных работ на заданный гранулометрический состав руды в рамках концепции «mine-to-mill»: современное состояние и перспективы. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2021;332(7):65–74. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/7/3264>
Marinin M.A., Evgrafov M.V., Dolzhikov V.V. Production of blasting operations for a given granulometric composition of ore within the framework of the «mine-to-mill» concept: current state and prospects. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2021;332(7):65–74. (In Russ.). <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/7/3264>

3. Ракишев Б.Р., Орынбай А.А., Ауэзова А.М., Куттыбаев А.Е. Гранулометрический состав взорванных пород при различных условиях взрывания. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019;(8):83–94. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-08-0-83-94>
Rakishev B.R., Orynbay A.A., Auezova A.M., Kuttybaev A.E. Grain size composition of broken rocks under different conditions of blasting. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2019;(8):83–94. (In Russ.). <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-08-0-83-94>
4. Угольников В.К., Симонов П.С., Угольников Н.В. Прогнозирование гранулометрического состава взорванной горной массы. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2007;(S7):63–70.
Ugolnikov V.K., Simonov P.S., Ugolnikov N.V. Forecasting of particle size distribution of blasted rock mass. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2007;(S7):63–70. (In Russ.).
5. Иванова П.В. Алгоритм прогнозирования наработки карьерного экскаватора ЭКГ-32Р в заданных условиях эксплуатации. В кн.: *Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017: сборник тезисов Междунар. науч.-техн. конф., г. Санкт-Петербург, 23–24 марта 2017 г.* СПб.: Санкт-Петербургский горный университет; 2018. С. 79.
6. Иванова П.В., Иванов С.Л. Анализ отказов механического оборудования карьерных экскаваторов. В кн.: *Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование: тезисы докладов Междунар. науч.-практ. конф., г. Санкт-Петербург, 28–29 окт. 2015 г.* СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»; 2015. С. 54.
7. Дремин А.В., Марков Ю.В. Способ определения гранулометрического состава развала горной массы. Патент РФ, №RU 2 807 542, Заявл. 25.05.2023; Оpubл. 16.11.2023. Режим доступа: <https://patenton.ru/patent/RU2807542C1?ysclid=ly8xk9ss4h40366790> (дата обращения: 01.07.2024)
8. Шелковников Е.Ю., Шляхтин К.А., Шелковникова Т.Е., Егоров С.Ф. Применение нейронной сети архитектуры U-NET для сегментации СТМ-изображений. *Химическая физика и мезоскопия*. 2019;21(2):330–336. <https://doi.org/10.15350/17270529.2019.2.36>
Shelkovnikov E.Yu., Shlyakhtin K.A., Shelkovnikova T.E., Egorov S.F. Application of neural network of U-Net architecture for segmentation of nanoparticles on СТМ-probes. *Chemical Physics and Mesoscopy*. 2019;21(2):330–336. (In Russ.). <https://doi.org/10.15350/17270529.2019.2.36>
9. Дремин А.В., Великанов В.С. Постановка многокритериальной задачи анализа и прогнозирования гранулометрического состава взорванных горных пород. *Горная промышленность*. 2023;(5):52–60. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5-52-60>
Dremin A.V., Velikanov V.S. Setting a multi-criteria problem to analyze and forecast particle size distribution of blasted rock. *Russian Mining Industry*. 2023;(5):52–60. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5-52-60>

Информация об авторах

Великанов Владимир Семенович – доктор технических наук, научный консультант, ООО «ДАВТЕХ», профессор кафедры подъемно-транспортных машин и роботов, Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Российская Федерация, профессор кафедры автоматизации и компьютерных технологий, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-5581-2733>; e-mail: v.s.velikanov@urfu.ru

Дремин Александр Владимирович – генеральный директор, ООО «ДАВТЕХ», г. Екатеринбург, Российская Федерация

Чернухин Станислав Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации и компьютерных технологий, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Ломовцева Наталья Викторовна – кандидат педагогических наук, доцент, проректор по образовательной деятельности и цифровизации, Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: lomovtseva-nv@urgau.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 19.05.2024

Поступила после рецензирования: 01.07.2024

Принята к публикации: 05.07.2024

Information about the authors

Vladimir S. Velikanov – Dr. Sci. (Eng.), Academic Adviser, DAVTECH LLC, Professor, Department of Hoisting and Hauling Machines and Robots, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation, Professor, Department of Automatics and Computer Technologies, Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-5581-2733>; e-mail: v.s.velikanov@urfu.ru

Aleksandr V. Dremin – Director General, DAVTECH LLC, Ekaterinburg, Russian Federation

Stanislav A. Chernukhin – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Automatics and Computer Technologies, Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation

Nataliya V. Lomovtseva – Cand. Sci. (Educ.), Associate Professor, Vice-Rector for Educational Activities and Digitalization, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: lomovtseva-nv@urgau.ru

Article info

Received: 19.05.2024

Revised: 01.07.2024

Accepted: 05.07.2024



МАГНИТОГОРСКИЙ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ
КОМБИНАТ

16+

РЕКЛАМА

MAGSTRONG

ВЫСОКОПРОЧНАЯ СТАЛЬ



Центр информационной поддержки
клиентов ПАО «ММК»

тел.: 8 800 775-000-5
(звонок по России бесплатный)



Механизмы формирования оползней повышенной опасности (быстрых и протяженных)

В.В. Дьяченко¹, В.А. Туркин²✉, А.Е. Воробьев³, В.В. Кукарцев^{4,5}, Я.А. Тынченко^{6,5}

¹ Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, г. Новороссийск, Российская Федерация

² Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, г. Новороссийск, Российская Федерация

³ Ферганский медицинский институт общественного здоровья, г. Фергана, Республика Узбекистан

⁴ Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнёва, г. Красноярск, Российская Федерация

⁵ Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Российская Федерация

⁶ Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация

✉ turvla@mail.ru

Резюме: Представлены результаты исследования механизма формирования и передвижения быстрых и протяженных глинистых оползней, характеризующихся повышенной опасностью и катастрофичностью последствий для техносферы и особенно геологической среды. Рассмотрены последствия оползней, происшедших в различных физико-географических зонах, с различным минералого-петрографическим составом горных пород. При анализе особенностей формирования оползней учитывались уклоны склона, абсолютные отметки и относительные превышения, изменения уклонов, расчлененности рельефа и экспозиции склона, площади водосборов, близость водных объектов, тектоника, а также состав горных пород. Объяснены три механизма, обуславливающих перемещение геомассы оползней: под влиянием сил гравитации, псевдооживления и смазки ложа оползня по направлению движения. Установлено, что только силы гравитации не обеспечивают быстрое перемещение значительных геомасс на дальние расстояния. Важным фактором является снижение трения на ложе оползня благодаря смазке, которая образуется в результате проникновения дождевых осадков или геохимического преобразования тонкого слоя подстилающих пород в процессе перемещения геомассы оползня. Оползни рассмотренного генезиса могут представлять большую опасность для различных горных выработок, карьеров, фактически для любых форм деятельности и объектов по направлению горное дело.

Ключевые слова: оползни, механизмы перемещения, гравитация, геохимическое преобразование подстилающих пород, экологическая устойчивость, наноподшипники

Для цитирования: Дьяченко В.В., Туркин В.А., Воробьев А.Е., Кукарцев В.В., Тынченко Я.А. Механизмы формирования оползней повышенной опасности (быстрых и протяженных). *Горная промышленность*. 2024;(4):96–100. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-96-100>

Mechanisms of high hazard landslide formation (rapid and slow)

V.V. Dyachenko¹, V.A. Turkin²✉, A.E. Vorobev³, V.V. Kukartsev^{4,5}, Ya.A. Tynchenko^{6,5}

¹ Novorossiysk Polytechnic Institute (branch) of Kuban State Technological University, Novorossiysk, Russian Federation

² State Maritime University named after Admiral F.F. Ushakova, Novorossiysk, Russian Federation

³ Fergana Medical Institute of Public Health, Fergana, Republic of Uzbekistan

⁴ Siberian State University of Science and Technology named after M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russian Federation

⁵ Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

⁶ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

✉ turvla@mail.ru

Abstract: The article discusses the results of studying the mechanism of formation and movement of rapid and slow clay landslides characterized by increased danger and catastrophic consequences for the technosphere. The consequences of landslides that occurred in various physical and geographical zones with different mineralogical and petrographic composition of rocks are considered. The analysis of the landslide formation features takes into account the slope gradients, actual elevations and local differences in elevation, changes in slope gradients, terrain roughness and direction of slopes, catchment areas, proximity of water bodies, tectonics, as well as the composition of soils and rocks. Three mechanisms that cause the movement of the landslide geomaterials are explained: the impact of gravity forces, fluidization and lubrication of the landslide bed in the direction of movement. It has been established that the gravity forces alone do not enable the rapid displacement of significant masses of geomaterials over long distances. An important factor is the reduced friction at the landslide bed due to lubrication, which is formed as a result of rainfall infiltration or geochemical transformation of a thin layer of bedrock in the course of the landslide geomaterial displacement. Landslides of the discussed genesis can pose a great hazard to various mine workings, open pits, in fact to any form of activity and facilities of the mining industry.

Keywords: landslides, movement mechanisms, gravity, geochemical transformation of underlying rocks, environmental sustainability, nanoparticles

For citation: V.V. Dyachenko, Turkin V.A., Vorobev A.E., Kukartsev V.V., Tynchenko Ya.A. Mechanisms of high hazard landslide formation (rapid and slow). *Russian Mining Industry*. 2024;(4):96–100. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-96-100>

Введение

Убытки, вызванные оползнями, составляют более 5% общих экономических потерь, вызванных землетрясениями, а в густонаселенных горных регионах потери могут быть намного выше. Большую опасность оползни представляют для различных горных выработок, карьеров, фактически для любых форм деятельности по направлению горное дело. Механизмы развития гравитационных склоновых процессов (разрушение и движение склонов) обычно схематически подразделяются на четыре стадии: предразрушительная стадия; стадия разрушения; послеразрушительная стадия; стадия реактивации. В современных моделях обычно не учитываются предразрушительная стадия и кинематика нестабильного грунтового массива после разрушения [1].

Анализ устойчивости склонов в жестких глинах сложен. Упрощенные подходы, такие как метод предельного равновесия, не способны решить проблему прогнозирования устойчивости склонов в жестких глинах. Традиционные численные методы могут эффективно использоваться для прогнозирования деформационных процессов, происходящих в откосах на предразрушительной стадии [2–4]. Однако могут проявиться серьезные недостатки численных методов из-за значительной трансформации морфологии оползневого тела при больших смещениях, например, после разрушения. Для преодоления этого ограничения необходимы альтернативные численные методы, например, использующие способ Эйлера [5], основанные на обработке больших массивов данных. В последнее время было разработано несколько численных методов для анализа задач большой деформации, которые можно использовать и в горном деле. Наиболее распространенными из них являются метод гидродинамики сглаженных частиц и метод материальной точки [6–9]. Но, в любом случае, в основе всякого анализа и прогноза развития оползневых процессов должны лежать особенности горных пород, формирующих склон. Данная работа в большей степени посвящена исследованию влияния минералого-петрографических и геохимических особенностей грунта на развитие гравитационных склоновых процессов.

Методы исследования

Задачи исследования реализованы с помощью следующих двух групп методов: вариационно-статистического, для обработки фактического материала, характеризующего рассмотренные оползни, и различных стандартных физико-химических методов по исследованию грунтов – инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, твердотельный ядерный магнитный резонанс, оптическая микроскопия и рентгеновская порошковая дифракция.

В первую очередь рассматривались такие базовые характеристики оползней, как морфология распределения масс, тип, объем, охват площади и т. д. Детальные исследова-

ния взаимосвязи формирования оползней с такими факторами, как литология и морфология горных пород, образующих склоны, проводились в Чеченской республике, где распространены отложения четвертичного, неогенового и верхнепалеогенового возраста, а также терригенно-карбонатные массивы нижнего палеогена и верхнего мела [10; 11]. Представленный в данной работе анализ особенностей формирования и поведения оползней, их возможного влияния на добычу полезных ископаемых и техносферную безопасность различных горных выработок произведен нами вариационно-статистическим методом с помощью программного комплекса LANDSLIDEMODELLER [12; 13].

Обсуждение

Оползни относятся к гравитационным процессам, которые представляют собой смещение горных пород одновременно по типу скольжения и обвала [10; 14]. Исследования показали, что только силами гравитации перемещение огромных объемов грунта на большие расстояния и с высокой скоростью можно объяснить не всегда. Результаты вариационно-статистической обработки и обобщения различных исследований [10; 15] позволили сформулировать следующие предпосылки формирования оползней.

1. Чаще всего (90% случаев) оползневые склоны имеют уклон более 20° и в основном, как это показано на рис. 1, от 20–35°.

2. Наиболее распространены оползни в горах с абсолютной высотой до 1200 м и с протяженностью склона 200–400 м.

3. На горных склонах северной экспозиции количество оползней в 2 раза больше, чем на склонах в других направлениях. Это обусловлено меньшей солнечной инсоляцией и меньшим испарением влаги с почвы, а также большей влажностью грунтов северных склонов.

4. Вблизи тектонических нарушений (расстояние менее 0,5 км до масштабных разломов) количество оползней в 2 раза больше, чем на склонах с большим расстоянием.

5. Вблизи ручьев или рек (с расстоянием менее 5 км) количество оползней на горных склонах в 3 раза выше, чем на остальных склонах.

6. Связь между частотой схода оползней и площадью водосбора не обнаружена.

7. Не установлена существенная связь между оползнями и литологией горных пород. Хотя очевидно, что массы грунта терригенно-карбонатного состава не отличаются быстрым и далеким перемещением, даже при наличии субпараллельных канав (трещин) отрыва (длиной 30–120 м). Они могут существовать в стабильном состоянии достаточно долго, даже после отсоединения от основного массива грунта.

8. Следует уделить большее внимание направлению и углу падения пластов горных пород при оценке формирования оползней, а также различным техногенным факторам (дорогам, шламонакопителям, карьерам, другим

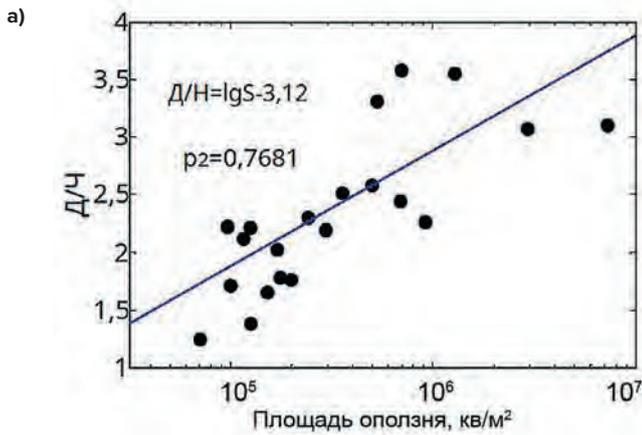


Рис. 1
Связь дистанции смещения геомасс с (а) площадью оползня и (б) его объемом
Источник: [15]

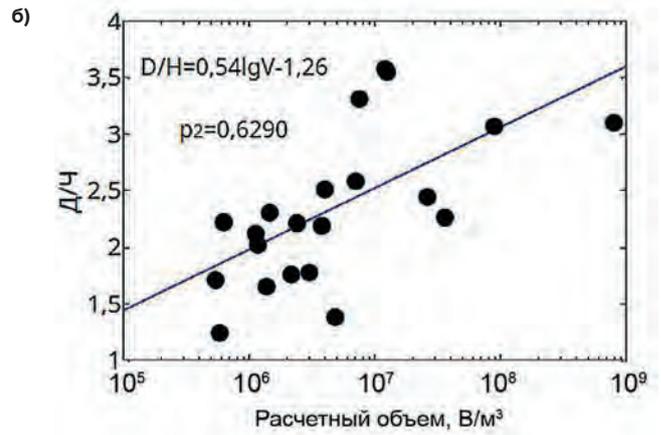


Fig. 1
Relationship between the distance of geomaterial displacement and the landslide area (a) and its volume (b)
Source: [15]

горным выработкам, ГОКам), деятельность которых на определенном этапе может стать триггером оползней [16].

Большие исследования были посвящены сходу в Китае в 2008 г. громадного оползня Дагуанбао. Он был вызван землетрясением (8,2 балла) и очень быстро переместил вниз по склону горы более 1 км³ обломочного материала на расстояние около 5 км от поверхности отрыва, а площадь поверхности оползня составила 7,2 км² [15]. В результате трения геомасс оползня о породы ложа динамически рекристаллизованный слой мощностью около 1 мм нагрелся до температуры более 850°С, что достаточно для начала разложения доломита [17]. В результате произошло испарение СО₂ из доломита, что дополнительно снизило величину трения (коэффициент трения составлял $\mu \approx 0,05$). В результате высоких температур и давления в нижней части оползня образовался слой пониженной вязкости, который уменьшил трение скольжения геомасс оползня. Взаимодействие этих механизмов позволило оползню Дагуанбао достичь скорости перемещения около 60 м/с. Исследования показали, что траектория и протяженность движения оползня определяются геометрическими параметрами склона, пропорциональны его площади и объему обломочного материала.

Другим примером быстрого перемещения оползней, образовавшихся в результате землетрясений, служит Гиссарское – в Таджикистане, произошедшее 23 января 1989 г. [18]. Предпосылкой его возникновения являлось интенсивное обводнение грунта высокого глинистого холма, у подножия которого находился пос. Шарор, а основание холма было подрезано выработкой для прокладки дороги и коммуникаций. После первых сейсмических колебаний верхушка этого холма потеряла устойчивость и огромная, высотой в несколько метров и шириной в два километра масса размокшей глины и обломочного материала устремилась вниз. Подобные быстрые оползни наблюдаются в разных районах Земли. Наибольшую опасность для селитебных ландшафтов и горнодобывающей инфраструктуры представляют грунтовые (глиняные) оползни, механизм действия которых основан на проявлении физико-химических свойств так называемых «быстрых» глин, которые широко развиты в Норвегии и Швеции, а также встречаются в России, Финляндии,

Канаде и Аляске. Механизм электростатической дестабилизации структуры глинистых агрегатов и формирования быстрых оползней подробно рассмотрен в работе [12].

Обобщение моделей перемещения оползней позволяет выделить три основные группы факторов (причин) [15]: объемное псевдооживление и гидродинамический поток массы оползня (по типу селя); механизмы потери геомассы в сочетании с нормальным фрикционным скольжением; различные варианты смазки ложа оползня по направлению движения (рис. 1).

Механизм быстрого перемещения геомассы оползней, предложенный авторами, обусловлен морфологией глинистых наночастиц и прежде всего галлуазита, выполняющих роль эффективной смазки на поверхностях скольжения. Галлуазит – глинистый минерал подкласса слоистых силикатов, имеет гипергенное происхождение и по составу близок к каолиниту. Но, в отличие от каолинита, наночастицы которого имеют пластинчатую форму, наноагрегаты галлуазита представляют собой нанотрубки (длиной 0,5–2 мкм и диаметром около 200 нм), в которых листы алюмосиликата свернуты в спираль. Оболочки галлуазитовых трубок включают 15–20 слоев. Эти наночастицы имеют огромную механическую прочность, выдерживают высокие температуры и колоссальное давление. При этом необходимо заметить, что нанотрубки галлуазита обычно имеют высокое содержание воды из-за наличия единичных слоев, разделенных молекулами воды, а также ионами металлов. Для того чтобы галлуазитовые нанотрубки могли эффективно выполнять роль природных подшипников при перемещении геомассы оползней, случайное распределение ориентации нанотрубок должно быть перестроено, иначе их несоосность будет помехой снижению трения. И это возможно под влиянием возникающего при перемещении геомассы оползня локального магнитного поля и особенностей строения и распределения заряженных частиц в галлуазитовых нанотрубках [13].

Заключение

В результате обобщения материалов и проведенных исследований уточнены три механизма формирования быстрых и протяженных глинистых оползней: под влиянием

янием сил гравитации, псевдооживления и смазки ложа оползня во время скольжения. Установлено, что только силы гравитации не обеспечивают быстрого перемещения значительных геомасс на дальние расстояния. Важным фактором является снижение трения на ложе оползня благодаря смазке, которая образуется в результате проникновения дождевых осадков или геохимического преобразования тонкого слоя подстилающих пород в процессе перемещения геомассы оползня. Третий механизм

может заключаться в участии наночастиц нижнего слоя оползня в качестве природных наноподшипников, самоорганизующихся под влиянием локального магнитного поля, возникающего при перемещении оползня. Оползни рассмотренного генезиса могут представлять большую опасность для различных горных выработок, карьеров, фактически для любых форм деятельности и объектов по направлению горное дело.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The author declares no relevant conflict of interests.

Вклад авторов

Авторы заявляют о равноценном вкладе всех соавторов в работу.

Authors' contribution

The authors declare equal contribution of all co-authors to the work.

Список литературы / References

- Leroueil S. Natural slopes and cuts: movement and failure mechanism. *Geotechnique*. 2001;51(3):197–243. <https://doi.org/10.1680/geot.2001.51.3.197>
- Conte E., Donato A., Troncone A. A finite element approach for the analysis of active slow-moving landslides. *Landslides*. 2014;11(4):723–731. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0446-9>
- Troncone A., Conte E., Donato A. Two and three-dimensional numerical analysis of the progressive failure that occurred in an excavation-induced landslide. *Engineering Geology*. 2014;183:265–275. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.08.027>
- Conte E., Donato A., Pugliese L., Troncone A. Analysis of the Maierato landslide (Calabria, Southern Italy). *Landslides*. 2018;15(10):1935–1950. <https://doi.org/10.1007/s10346-018-0997-x>
- Crosta G.B., Imposimato S., Roddeman D.G. Numerical modelling of large landslides stability and runout. *Natural Hazards and Earth System Science*. 2003;3(6):523–538. <https://doi.org/10.5194/nhess-3-523-2003>
- Calvetti F., di Prisco C.G., Vairaktaris E. DEM assessment of impact forces of dry granular masses on rigid barriers. *Acta Geotechnica*. 2017;12(1):129–144. <https://doi.org/10.1007/s11440-016-0434-z>
- Malozymov B.V., Martyushev N.V., Sorokova S.N., Efremkov E.A., Qi M. Mathematical modeling of mechanical forces and power balance in electromechanical energy converter. *Mathematics*. 2023;11(10):2394. <https://doi.org/10.3390/math11102394>
- Pirulli M., Pastor M. Numerical study on the entrainment of bed material into rapid landslides. *Geotechnique*. 2012;62(11):959–972. <https://doi.org/10.1680/geot.10.P.074>
- Fern J., Rohe A., Soga K., Alonso E. *The material point method for geotechnical engineering*. A Practical Guide. CRC Press; 2019. 442 p. <https://doi.org/10.1201/9780429028090>
- Жуков И.А., Голиков Н.С., Мартюшев Н.В. Рационализация конструкции секции скребкового конвейера средствами автоматизированного метода анализа прочностных характеристик. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2022;14(1):142–150.
Zhukov I.A., Golikov N.S., Martyushev, N.V. Design rationalization of the scraper conveyor section by means of an automated method of strength characteristics analysis. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022;14(1):142–150. (In Russ.)
- Босиков И.И., Ключев Р.В., Силаев И.В., Стась Г.В. Комплексная оценка трудноформализуемых вентиляционно-технологических процессов на угольных шахтах. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2023;15(3):516–527. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-3-516-527>
Bosikov I.I., Klyuev R.V., Silaev I.V., Stas G.V. Comprehensive assessment of formalized ventilation difficulty and technological processes in coal mines. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023;15(3):516–527. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-3-516-527>
- Босиков И.И., Ключев Р.В., Хетагуров В.Н., Силаев И.В. Комплексная оценка гидродинамических процессов на карьере клинского месторождения с помощью методов управления ими в массивах горных пород. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2023;15(2):284–297.
Bosikov I.I., Klyuev R.V., Khetagurov V.N., Silaev I.V. Comprehensive assessment of hydrodynamic processes in the Klinskoye Quarry with the use of their control methods in rock masses. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023;15(2):284–297. (In Russ.)

13. 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>
14. Malozyomov B.V., Martyushev N.V., Sorokova S.N., Efremkov E.A., Valuev D.V., Qi M. Analysis of a predictive mathematical model of weather changes based on neural networks. *Mathematics*. 2024;12(3):480. <https://doi.org/10.3390/math12030480>
15. Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Martyushev N.V., Klyuev R.V., Kukartsev V.V., Konyukhov V.Y. et al. Radon emanation and dynamic processes in highly dispersive media. *Geosciences*. 2024;14(4):102. <https://doi.org/10.3390/geosciences14040102>
16. Kuznetsov D.V., Klyuev S.V., Ryazanov A.N., Sinitin D.A., Pudovkin A.N., Kobeleva E.V., Nedoseko I.V. Dry mixes on gypsum and mixed bases in the construction of low-rise residential buildings using 3D printing technology. *Construction Materials and Products*. 2023;6(6):5. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-6-5>
17. Sinitin D.A., Elrefaei A.E.M.M., Glazachev A.O., Kuznetsov D.V., Parfenova A.A., Volokitina I.E. et al. Study of the characteristics of pavement elements made of rein-forced soil with the use of secondary resources. *Construction Materials and Products*. 2023;6(6):2. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-6-2>
18. Krestinenko N.V. Vernacular architecture in the space of a modern city, based on deep learning methods and three-dimensional structural analysis. *Construction Materials and Products*. 2023;6(6):9. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-6-9>

Информация об авторах

Дьяченко Владимир Викторович – доктор географических наук, профессор, Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, г. Новороссийск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-0479-2909>; e-mail: v-v-d@mail.ru

Туркин Владимир Антонович – доктор технических наук, профессор, Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, г. Новороссийск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-2945-6143>; e-mail: turvla@mail.ru

Воробьев Александр Егорович – доктор технических наук, профессор, проректор, Ферганский медицинский институт общественного здоровья, г. Фергана, Республика Узбекистан; <https://orcid.org/0000-0002-7324-428X>; e-mail: fogel_al@mail.ru

Кукарцев Владислав Викторович – кандидат технических наук, доцент, кафедра информационно-экономических систем, ИИЭ, Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнёва, г. Красноярск, Российская Федерация; НОЦ Технологии искусственного интеллекта, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация; ResearcherID: U-6956-2019, Scopus Author ID: 57202283852, SPIN-код: 3522-2910, <https://orcid.org/0000-0001-6382-1736>; e-mail: vlad_saa_2000@mail.ru

Тынченко Ядвига Александровна – младший научный сотрудник, Лаборатория биотопливных композиций, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация; НОЦ Технологии искусственного интеллекта, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: t080801@yandex.ru

Information about the authors

Vladimir V. Dyachenko – Dr. Sci. (Geogr.), Professor, Novorossiysk Polytechnic Institute (branch) of the Kuban State Technological University, Novorossiysk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-0479-2909>; e-mail: v-v-d@mail.ru

Vladimir A. Turkin – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Admiral Ushakov Maritime State University, Novorossiysk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-2945-6143>; e-mail: turvla@mail.ru

Alexander E. Vorobev – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Vice-rector, Fergana Medical Institute of Public Health, Fergana, Fergana, Republic of Uzbekistan; <https://orcid.org/0000-0002-7324-428X>; e-mail: fogel_al@mail.ru

Vladislav V. Kukartsev – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Information and Economic Systems, IIE, Siberian State University of Science and Technology named after M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russian Federation; Artificial Intelligence Technology Scientific and Education Center, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation; ResearcherID: U-6956-2019, Scopus Author ID: 57202283852, <https://orcid.org/0000-0001-6382-1736>; e-mail: vlad_saa_2000@mail.ru

Yadвига A. Tynchenko – Junior Researcher, Laboratory of Biofuel Compositions, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation; Artificial Intelligence Technology Scientific and Education Center, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation; e-mail: t080801@yandex.ru

Article info

Received: 25.05.2024

Revised: 01.07.2024

Accepted: 05.07.2024

Информация о статье

Поступила в редакцию: 25.05.2024

Поступила после рецензирования: 01.07.2024

Принята к публикации: 05.07.2024

**СПЕЦИАЛЬНЫЕ
ДОРОЖНЫЕ
МАШИНЫ**

АВТОГРЕЙДЕР СДМ-25

СЕРИИ

«ШАЙР»

**ОПТИМАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ
ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ
ОТРАСЛИ**



**Масса
28 000 кг.**



**Грейдерный
отвал- 4500 мм**



**Мощность
400 л.с**



г. Челябинск, ул. Енисейская, 36

+7(351) 723-08-80

8-800-333-56-58



www.sdm25.ru

Моделирование в ANSYS CFD процесса проветривания карьеров

С.С. Кобылкин¹✉, А.С. Кобылкин², Сис Мье¹, Альфа Мамаду Барри³

¹ Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация

² Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

³ Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, г. Москва, Российская Федерация

✉ kobylikin.s@misis.ru

Резюме: Безопасность и эффективность ведения открытых горных работ зависят от принятых проектных решений, в том числе по проветриванию. Расчёт вентиляции карьеров должен быть произведен либо по общепринятым методикам, о которых кратко рассказывается в данной статье, либо с применением специальных программ. Наиболее просто и быстро относительно традиционного графического способа расчёты по проветриванию можно сделать в программном комплексе Ansys CFD. На основании проведенной серии численных экспериментов и их верификации в данной работе предложены рекомендации по построению трехмерной модели и по параметрам сетки для моделирования проветривания карьеров. Также даны рекомендации по выбору начальных и граничных условий. В качестве верификации полученных результатов предлагается использовать три базовых подхода. Первый подход заключается в проверке неизменяемости границ прямого и обратного воздушного потока при изменении скорости ветра. Второй подход базируется на наличии в результатах моделирования локальных зон рециркуляции на отдельных уступах подветренного борта. И третий подход реализуется при выполнении контрольного расчёта скорости движения воздуха в произвольной точке в карьере. Проектирование вентиляции карьера является необходимым условием для оценки уровня опасности ведения горных работ. Выполняя расчёты по проветриванию на стадии выбора технологических решений, можно выбрать оптимальные параметры системы разработки.

Ключевые слова: безопасность горных работ, карьер, проветривание, моделирование локальных зон рециркуляции, Ansys CFD

Для цитирования: Кобылкин С.С., Кобылкин А.С., Сис Мье, Альфа Мамаду Барри. Моделирование в ANSYS CFD процесса проветривания карьеров. *Горная промышленность*. 2024;(4):102–106. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-102-106>

Modeling of open pit ventilation in ANSYS CFD

S.S. Kobylikin¹✉, A.S. Kobylikin², Sis Mue¹, Alpha Mamadou Barry³

¹ National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation

² Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

³ Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Engineering Academy, Moscow, Russian Federation

✉ kobylikin.s@misis.ru

Abstract: The safety and efficiency of open-pit mining operations depend on the design decisions made, including those for ventilation. Calculation of open-pit ventilation should be carried out either using the generally accepted methods, which are briefly described in this article, or using dedicated software. The simplest and fastest calculations for ventilation as compared with the traditional graphical method can be done in the Ansys CFD software package. Based on a series of numerical experiments and their verification, this paper offers recommendations on designing a three-dimensional model and on the grid parameters for modeling open-pit ventilation. Recommendations on the choice of initial and boundary conditions are also given. Three basic approaches are proposed to verify the results obtained. The first approach is to check the invariability of the forward and reverse air flow boundaries when the wind speed changes. The second approach is based on the presence of local recirculation zones on individual benches of the leeward wall in the simulation results. And the third approach is implemented when performing a control calculation of the air velocity at an arbitrary point in the open-pit. Designing the open-pit ventilation is a prerequisite for assessing the hazard level of mining operations. Performing ventilation calculations at the stage when technological solutions are selected helps to select the optimal parameters of the mining system.

Keywords: Safety of mining operations, open pit mine, ventilation, modeling of local recirculation zones, Ansys CFD

For citation: Kobylikin S.S., Kobylikin A.S., Sis Mue, Alpha Mamadou Barry. Modeling of open pit ventilation in ANSYS CFD. *Russian Mining Industry*. 2024;(4):102–106. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-102-106>

Введение

Проветривание – базовое мероприятие по обеспечению промышленной безопасности при ведении горных работ. Несмотря на открытый способ добычи полезных ископаемых расчёты по величине выбросов вредных веществ, по количеству необходимого чистого воздуха для разбавления и выноса газов с пылью, а также поступающего за счёт ветра количества воздуха, необходимы. В настоящее время расчёты по вентиляции на карьерах встречаются редко. Обусловлено это не отсутствием методик, а только предположением, что обеспечить проветривание карьера (в тех же объёмах по количеству воздуха, как при естественной вентиляции) техническими решениями невозможно. Однако элементарный расчёт позволяет оценить степень влияния вентиляции карьера на выбранную систему вскрытия и разработки. При ответственном планировании возможно существенно сократить простои на достижение ПДК по газам и пыли, а также повысить безопасность. Встречаются научные работы [1–3], в которых вопросы проветривания рассматриваются для частных случаев, или работы, посвященные разработке новых технологических решений по проветриванию [4–6]. В ФНиП указывается только необходимость соблюдения требований по неперевышению допустимых концентраций газов и пыли. Требования к наличию элементарного расчёта естественного проветривания в документе нет. Хотя, для того чтобы провести расчёты по вентиляции карьера, необходимо иметь минимальное количество информации: параметры климата (направление и скорость ветров, а также температуру) и план горных работ. Также стоит отметить, что расчёт проветривания необходим при выборе тактики ведения аварийно-спасательных работ в случае пожара [7].

Для примера простоты расчетов, а также для демонстрации современных решений по проветриванию был выбран карьер «Северная гряда», расположенный в районе Чуйской долины (рис. 1). Расчёты включают в себя определение схемы проветривания карьера (как правило, графическим способом), а также поиск зон с прямым и обратным течением воздушных потоков (рис. 3, а). Далее выполняются элементарные расчёты поступающего в карьер воздуха за счёт действия ветра. Основные параметры в расчетных формулах находятся из графических построений (см. рис. 1 и 3, а). Так, при прямоугольной схеме проветривания для рассматриваемого примера в карьер поступает воздух в количестве $Q = 0,124 \cdot x_{cp} \cdot v_b \cdot L = 1093 \text{ м}^3/\text{с}$ (расчёт выполнен по методике [8]), где x_{cp} – среднее значение абсцисс границы x для ряда характерных профилей карьера, совпадающих с направлением ветра, м; v_b – средняя скорость ветра, м/с; L – длина карьера в направлении, перпендикулярном направлению ветра, м. На плане горных работ выделены контрольные точки «Точка 1» и «Точка 2». В дальнейшей работе в них будет проводиться сравнение показателей направления и скорости движения воздуха при расчетах, выполненных графическим путем, и при расчетах с применением компьютерного моделирования.

Проведенный расчёт необходимого количества воздуха и поступающего за счёт естественного проветривания показал, что вентиляция справляется с разбавлением всех вредных примесей до ПДК по всем загрязняющим веществам, за исключением пыли.

Наличие только плана ведения горных работ и открытых данных из интернета по метеоусловиям позволяет в

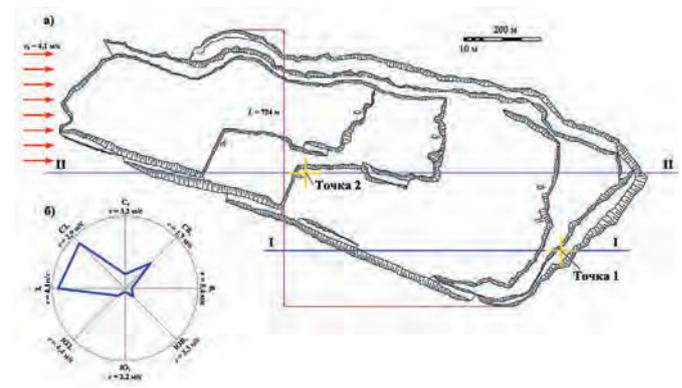


Рис. 1
План ведения горных работ (а), роза ветров (б) и секущие прямые I-I, II-II

Fig. 1
Mining plan (a), wind rose (b) and secant lines I-I, II-II

незначительные сроки сделать расчёт проветривания карьера. Использование программных средств, например [6; 9; 10], позволяет ускорить этот процесс. Еще одно средство проектирования вентиляции базируется на применении программного комплекса Ansys CFD (или его отечественного аналога FlowVision). Однако для его применения необходимо учитывать некоторые особенности, которые рассмотрены далее.

Результаты

Моделирование

По плану горных работ в модуле Design Modeling подготавливается трехмерная модель карьера (рис. 2, а) в масштабе 1:1. Трехмерная модель построена с областью атмосферы над карьером. При этом высота этой области определялась как семь глубин карьера, т.е. $H_{атмосфера} = 7 \cdot H_{карьер}$. Выполнение этого условия позволяет получить распределения воздушных потоков в соответствии с общепринятыми данными [8; 11; 12], без недопустимого искривления воздушного потока [2; 3].

Для корректного задания граничных условий по действию ветра после проведенной серии численных экспериментов было определено оптимальное решение выбора формы атмосферы над карьером в виде параллелепипеда. Он должен быть сориентирован таким образом, чтобы одна из его сторон была перпендикулярна направлению преобладающего ветра. По данной стороне задается условие равномерного движения воздуха со скоростью v_b .

Третьим важным моментом является построение расчётной сетки. Она должна быть сгущена у самой поверхности карьера с учетом скорости воздушного потока, задаваемого как начальное условие. Далее необходимо при генерации расчётной сетки поставить условие равномерного увеличения длины ребер Growth Rate не менее 1,1. Для данной модели количество элементов (тетраэдров) составило более 10 млн с минимальным размером ребра по поверхности карьера 0,5 м (рис. 2, б).

В результате проведенных расчетов были получены сведения по аэродинамическим процессам проветривания в карьере «Северная Гряда». Результаты моделирования позволяют определить зоны рециркуляции сразу по всему карьеру.

При моделировании наиболее сложной работой является построение трехмерной модели карьера. В будущем

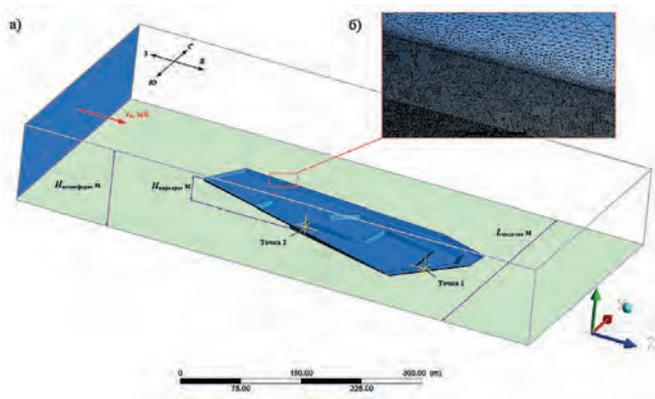


Рис. 2 Вид трехмерной модели карьера (а) и расчетной сетки (б)

Fig. 2 View of the three-dimensional open pit model (a) and the computational grid (b)

этот этап работы будет выполняться с помощью трехмерного сканирования, которое набирает большую популярность на горных предприятиях, что заметно упростит построение трехмерной модели карьера.

Верификация

Верификация проводилась путем визуального и численного сравнения результатов моделирования с традиционным методом, основанным на графическом способе (см. рис. 3, а). Профили с векторами скорости движения воздуха (см. рис. 3, б), полученные в результате моделирования, наглядно показывают локальные рециркуляционные зоны, которые также были определены графическим путем. Проведенное моделирование позволяет выявить зоны рециркуляции сразу по всему карьеру, что более наглядно и просто, чем при графическом способе (рис. 4).

Проведенный численный эксперимент с увеличением скорости ветра также позволил верифицировать способ проведения расчетов, основанный на трехмерном моделировании в ПО Ansys CFD. Известно [8; 11; 12], что скорость ветра не влияет на схему проветривания карьера, а границы обратных течений воздушных потоков не изменяются. Для проверки были проведены расчеты с разной скоростью движения ветра (0,1, 1, 2 и 3 м/с). Далее для каждого случая была построена изоповерхность с нулевой скоростью (выделено на рис. 4 голубым цветом). Как видно (см. рис. 4), во всех случаях расположение изоповерхности совпадает.

На третьем этапе верификации проводилось сравнение расчетных значений скорости воздушного потока в контрольных точках 1 и 2 с модельными значениями. Точки были выбраны для наглядности в двух зонах: на наветренном борту карьера (точка 1) и в зоне рециркуляции (точка 2). С учетом параметрического моделирования были получены графики зависимости скорости воздуха в контрольной точке от скорости ветра (рис. 5). Как видно, они имеют линейную зависимость и полностью совпада-

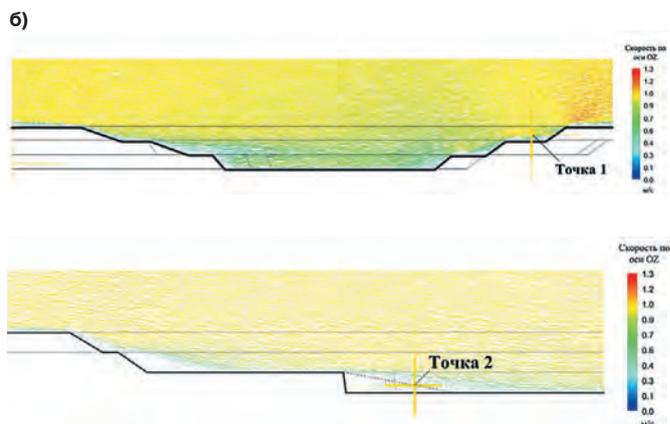
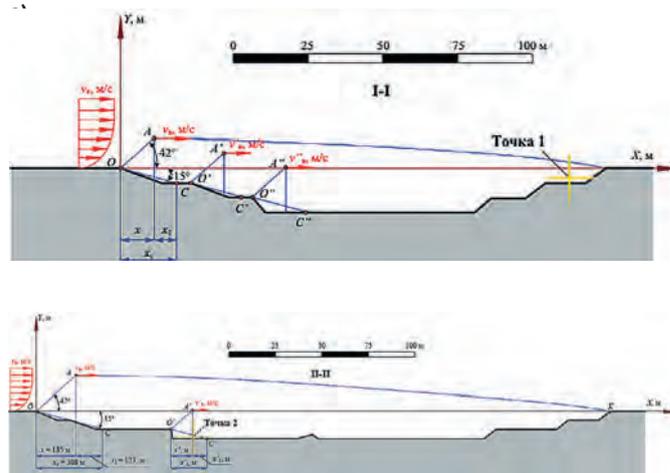


Рис. 3 Схема проветривания карьера по секущей прямой II-II (а) и график ветров скорости движения воздуха по подветренному борту карьера (б)

Fig. 3 A schematic diagram of open pit ventilation along secant line II-II (a) and a graph of wind velocity along the leeward wall of the open pit (b)

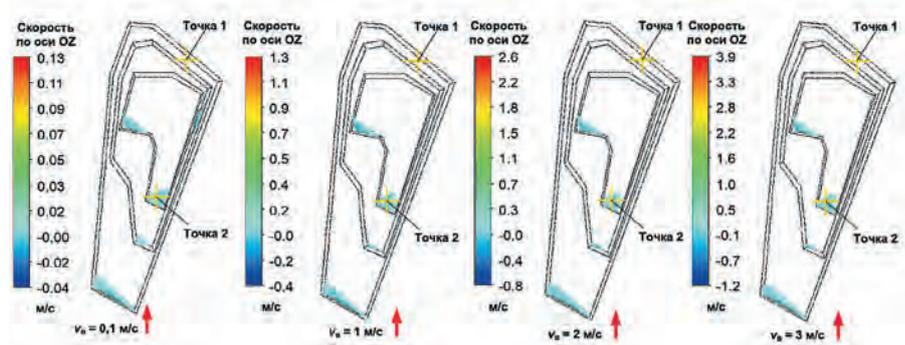


Рис. 4 Изоповерхность с нулевой скоростью движения воздуха при различной скорости ветра

Fig. 4 Isosurface with zero air velocity at different wind speeds

ют с расчетами по формулам из общепринятых методик [8; 11; 12].

Все три этапа верификации позволили подтвердить корректность результатов моделирования в ПО Ansys CFD.

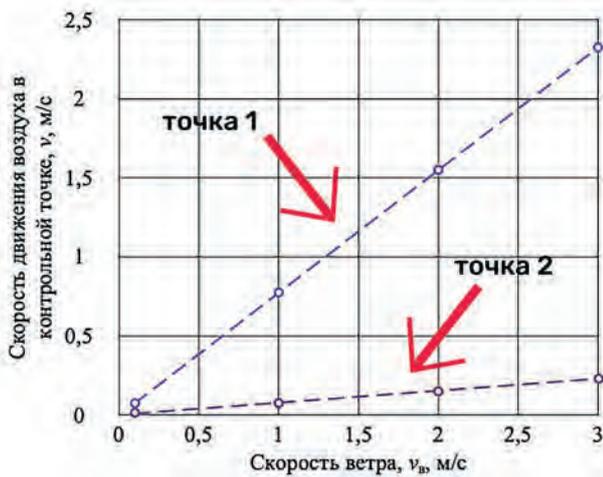


Рис. 5
График зависимости скорости воздуха в точке в карьере при различной скорости ветра на поверхности

Fig. 5
A line plot of air velocity dependence at a point in the open pit at different wind speeds on the ground surface

Данный подход по проверке моделирования в дальнейшем может быть использован как контрольный способ оценки правильности проведенных расчётов.

Трёхмерное моделирование имеет дальнейшее широкое применение в части контроля распределения вредных веществ (пыли и газа). Сегодня такие задачи решаются при обосновании локальных технических решений как в России [1; 4], так и за рубежом [13–15]. При разработке методик применения данных программ для проектирования вентиляции (с четкими требованиями к модели, расчётной сетке, начальным и граничным условиям) существенно повысится безопасность и эффективность открытых горных работ.

Заключение

Проектирование вентиляции карьеров на все этапы существования должно быть обязательным условием при разработке проектной документации. Все контролирующие организации (такие, как Ростехнадзор, ВГСЧ и др.) должны проверять наличие и полноту проведенных расчётов по проветриванию карьеров. Как показано в данной статье, расчет проветривания не является сложным и трудозатратным. При этом возможно использовать специальное программное обеспечение (например, Ansys CFD или FlowVision), которое существенно может упростить процесс проектирования.

Трёхмерное моделирование может быть использовано при расчёте параметров проветривания карьеров как один из способов проектирования вентиляции карьеров. Современные технологии по 3D сканированию карьеров позволяют упростить процесс моделирования – создание трёхмерной модели. Данная часть занимает больше всего времени (до 90%). Остальные этапы применения Ansys CFD позволяют сделать большую часть операций автоматически.

В качестве рекомендаций предлагается выбирать высоту над поверхностью карьера равной не менее чем семи глубинам карьера. Расчётная сетка должна быть сгущена у поверхности карьера и далее ее рост должен быть плавным (коэффициент Growth Rate не менее 1,1).

Моделирование позволяет упростить определение зон рециркуляции по всему карьере. Это достигается путем выполнения только одного расчета сразу для всего пространства карьера. То есть не требуется использовать графический способ для определения зон с прямым и обратным течением воздушных потоков.

Изменяя скорость и направление воздушного потока, можно определить наиболее неблагоприятные условия ведения горных работ. Отталкиваясь от полученных сведений, можно изменить параметры технологии для повышения аэрологической безопасности.

Список литературы / References

- Гендлер С.Г., Борисовский И.А. Оценка влияния температурных условий на естественную вентиляцию глубоких карьеров арктической зоны. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2022;14(2):218–227.
Gendler S.G., Borisovskiy I.A. Estimated impact of temperature conditions on deep pits natural ventilation in the Arctic. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022;14(2):218–227. (In Russ.)
- Гендлер С.Г., Борисовский И.А. Оценка особенностей формирования температурных инверсий при открытой добыче полезных ископаемых в условиях Арктики. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2021;(4):59–75.
Gendler S.G., Borisovsky I.A. Estimation of peculiarities of temperature inversion formation in open mining in the Arctic conditions. *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2021;(4):59–75. (In Russ.)
- Гендлер С.Г., Борисовский И.А. Оценка эффективности естественного проветривания карьеров при отработке золоторудных месторождений на основе математического моделирования аэродинамических процессов. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2020;(4):441–452.
Gendler S.G., Borisovsky I.A. Estimation of the efficiency of natural ventilation of pits during mining the gold deposit based on mathematical modeling of aerodynamic processes. *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2020;(4):441–452. (In Russ.)
- Амосов П.В., Бакланов А.А. Численное моделирование процессов естественного проветривания карьера при вариации его глубины в условиях инверсионного состояния атмосферы. *Горная промышленность*. 2023;(5S):65–71. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5S-65-71>
Amosov P.V., Baklanov A.A. Numerical modeling of natural ventilation processes in an open pit mine at its various depths in inversion atmospheric conditions. *Russian Mining Industry*. 2023;(5S):65–71. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5S-65-71>

5. Amosov P.V. Numerical modeling of open pit ventilation when varying the location of the dust and gas cloud. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal*. 2021;(7):5–15. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2021-7-5-15>
6. Андреев А.А., Маслобоев А.В. Программный модуль расчета времени естественного проветривания карьера (на примере рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК»). В кн.: *Труды международного симпозиума «Надежность и качество», г. Пенза, 24 по 31 мая 2021 г.* Пенза; 2021. Т. 1. С. 273–276.
7. Кобылкин С.С., Кобылкин А.С., Баловцев С.В., Харисов А.Р. Научно-обоснованные решения по разработке инструкции по составлению плана ликвидации аварий для угольных разрезов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;(6-1):84–98. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-61-0-84-98>
Kobylykin S.S., Kobylykin A.S., Balovtsev S.V., Kharisov A.R. Science-based solutions on the development of instructions for an emergency response plan for open-pit mines. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020;(6-1):84–98. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-61-0-84-98>
8. Воронина Л.Д., Багриновский А.Д., Никитин В.С. *Расчёт рудничной вентиляции*. М.: Госгортехиздат; 1962. 487 с.
9. Wang Y., Du C., Xu H. Key factor analysis and model establishment of blasting dust diffusion in a deep, sunken open-pit mine. *ACS Omega*. 2021;6(1):448–455. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04881>
10. Huang Z., Ge S., Jing D., Yang L. Numerical simulation of blasting dust pollution in open-pit mines. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2021;17(5):10313–10333. https://doi.org/10.15666/aeer/1705_1031310333
11. Никитин В.С., Битколов Н.З. *Проектирование вентиляции в карьерах*. М.: Недра; 1980. 171 с.
12. Ушаков К.З., Михайлов В.А. *Аэрология карьеров*. М.: Недра; 1975. 248 с.
13. Flores F., Garreaud R., Munoz R.C. OpenFOAM applied to the CFD simulation of turbulent buoyant atmospheric flows and pollutant dispersion inside large open pit mines under intense insolation. *Computers & Fluids*. 2014;90:72–87. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2013.11.012>
14. Chen X.-H. On surface mining process dust pollution and measures. *Building Technology Dev*. 2016;43:158–159.
15. Vaibhav R. *Three dimensional computational fluid dynamics models of pollutant transport in a deep open pit mine under Arctic air inversion and mitigation measures*. Thesis. Fairbanks, Alaska; 2015. 324 p. Available at: <https://www.academia.edu/112151269/> (accessed: 01.06.2024).

Информация об авторах

Кобылкин Сергей Сергеевич – доктор технических наук, профессор, кафедры безопасности и экологии горного производства, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-2626-208X>; e-mail: kobylykin.s@misis.ru

Кобылкин Александр Сергеевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-1512-890X>

Сис Муе – кандидат технических наук, докторант кафедры безопасности и экологии горного производства, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0009-7838-7149>

Барри Альфа Мамаду – аспирант кафедры недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии, Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0003-2260-1421>

Information about the authors

Sergey S. Kobylykin – 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: kobylykin.s@misis.ru

Alexander S. Kobylykin – Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-1512-890X>

Sis Mue – Cand. Sci. (Eng.), Doctoral student, Department of Mine Safety and Environment, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0009-7838-7149>

Alpha Mamadou Barry – Postgraduate Student, Department of Subsoil Use and Oil and Gas Engineering, Peoples’ Friendship University of Russia (RUDN University), Engineering Academy, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0003-2260-1421>

Article info

Received: 04.06.2024

Revised: 04.07.2024

Accepted: 11.07.2024

Информация о статье

Поступила в редакцию: 04.06.2024

Поступила после рецензирования: 04.07.2024

Принята к публикации: 11.07.2024

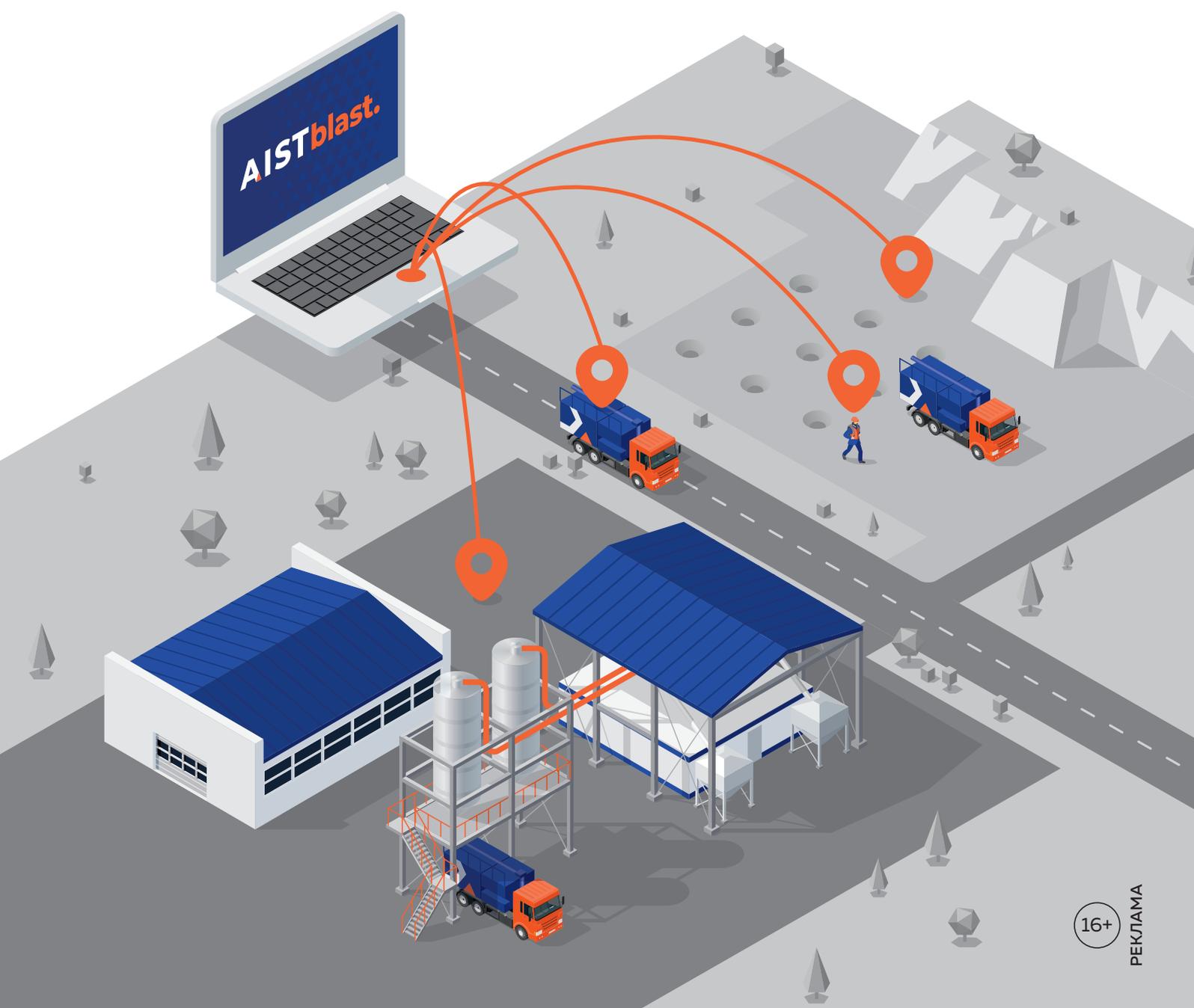
AISTblast.

Экосистемное решение для автоматизации процесса БВР от  AZOTTECH

 **Высокоточное
позиционирование
смесительно-зарядных машин**

 **Телеметрия эмульсионных
заводов и смесительно-зарядных
машин**

#оперативность #оптимизация #эффективность #безопасность #цифровизация



16+

РЕКЛАМА

Релиз в 2024 году

azotech.ru

office@azotech.ru

+7 495 120-43-30

Оценка нагрузок приводов рабочего оборудования карьерного экскаватора (часть 2)

Е.И. Шешукова✉, Д.А. Шибанов, С.Л. Иванов, П.В. Шишкин

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
✉ katiger@mail.ru

Резюме: Оценка нагруженности приводов подъема и напора рабочего оборудования карьерного экскаватора позволяет сделать вывод о рациональной траектории движения ковша с точки зрения интенсивности расходования ими ресурса. В первой части статьи определены усилия в канатах подъемной лебедки при углах наклона прямолинейных траекторий движения ковша относительно горизонта в 60, 70 и 80°. Установлено, что усилие подъема напрямую влияет на усилие напора, необходимое для обеспечения процесса экскавации. В статье проведен анализ изменения напорных составляющих и найдены значения усилий напорного механизма в основных и промежуточных положениях рабочего органа, а также характер изменения данной величины. Найдены значения напорного усилия для рассматриваемых траекторий движения ковша при отработке уступа, сделан вывод, что наименьшие усилия имеют место при крайней ближней траектории с углом наклона 80 и 70°. Определена взаимосвязь подъема и напора на основе значений крутящих моментов двигателей соответствующих приводов экскаватора. Проведен комплексный анализ работы приводов рабочего оборудования экскаватора, результаты которого позволили определить базовые значения работы двигателя подъема и напора за цикл для дальнейшей корректировки периодичности работ технического обслуживания и ремонта.

Ключевые слова: карьерный экскаватор, рабочий цикл экскаватора, усилия в канатах подъемной лебедки, двигатель подъема, двигатель напора, траектория копания, траектория движения рабочего органа экскаватора

Для цитирования: Шешукова Е.И., Шибанов Д.А., Иванов С.Л., Шишкин 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>

Assessment of loads at the working attachment of a mine shovel (Part 2)

E.I. Sheshukova✉, D.A. Shibanov, S.L. Ivanov, P.V. Shishkin

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation
✉ katiger@mail.ru

Abstract: Assessment of loads at the hoisting and crowding drives of a mine shovel working attachment helps to make a conclusion on the rational paths of the bucket movement in terms of the resource consumption intensity. The first part of the article defined the forces in the hoist winch ropes at the inclination angles of 60°, 70° and 80° relative to the horizon for straight-line paths of the bucket movement. It was found that the hoisting force directly affects the crowding force required to ensure the excavation process. The article analyzes changes in the pressure components and defines the values of the pressure force in the main and intermediate positions of the working attachment, as well as the nature of changes in this value. The values of the crowding force for the considered paths of the bucket movement during the bench excavation were found, and it was concluded that the lowest forces are observed at the closest path with the inclination angle of 80° and 70°. The relationship between the hoisting and crowding forces is defined based on the torque values of the motors of the corresponding shovel drives. A complex analysis of the drive operation of the shovel working attachment has been performed, the results of which allowed to determine the basic values of the hoisting and crowding motors operation per cycle for further adjustment of the maintenance and repair intervals.

Keywords: mining shovel, shovel working cycle, forces acting on the hoist winch ropes, hoist motor, crowding motor, excavation path, shovel attachment path of travel

For citation: 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>

Введение

Рабочее оборудование экскаватора представляет собой двухзвенный механизм (рукоять с ковшем и седловой подшипник) со степенью подвижности равной двум, что предполагает наличие двух приводов для придания ковшу детерминированного положения в зависимости от выбранной траектории его движения в цикле функционирования экскаватора [1–3].

В первой части статьи были определены характерные точки рабочего цикла экскаватора ЭКГ-18Р для базовых условий эксплуатации (управление экскаватором осуществлялось машинистом 8-го разряда, разрабатываемая порода III категории, горная масса без негабаритов, рабочая площадка горизонтальная, климатические и погодные условия – нормальные) [4–6]. Проанализирован план положений рабочего оборудования экскаватора и определены движущие силы и силы сопротивлений [7–9]. На основе этих данных определены изменения усилия в канатах подъемной лебедки для движения ковша при отработке уступа при углах наклона прямолинейных траекторий движения ковша относительно горизонта в 60, 70 и 80° для трех их положений (крайней ближней (ТБ), средней (ТС) и крайней дальней (ТД) от точки стояния экскаватора) [10–12]. Определено, что наименьшие усилия имеют место при крайнем ближнем положении (ТБ) с углом 60° [13].

Вместе с этим при работе лебедки подъема под действием усилия подъема, вектор которого нормально расположен к оси рабочего оборудования, не только преодолеваются усилия, необходимые для: экскавации породы, сил веса рабочего оборудования и породы, инерционные составляющие последних, но также формируется осевая составляющая, напрямую определяющая загрузку механизма напора. Соотношение нормальной и осевой составляющих в точке крепления каната подъемной лебедки к ковшу определяется углами наклона рабочего оборудования к горизонту и отклонением расположения системы канатов подъемной лебедки от вертикали.

Механизмы подъема и напора работают совместно, при этом определяющим в формировании нагрузки напора является механизм подъема [14–16]. Усилие в подъемном механизме в процессе копания постепенно возрастает до достижения ковшем высшей точки копания, после чего плавно снижается за исключением точки окончания копания 10,25 с (из-за отсутствия сил сопротивления копания и трения) и точки разгрузки 15 с (опорожнение ковша с учетом адгезии его материала) [17–19].

Для полного анализа нагруженности приводов рабочего оборудования необходимо применительно к приводу напора провести аналогичный представленному в первой части статьи анализ изменения усилий привода подъема [20–22]. На основе полученных данных по нагруженности при разных траекториях отработки уступа появляется возможность сделать вывод о рациональной траектории движения ковша с точки зрения интенсивности расхода ресурса приводов [23–25].

Методология

Для точек, соответствующих основным и промежуточным положениям рабочего органа экскаватора, найдено изменение напорных составляющих (рис. 1), необходимое

для осуществления процесса копания, перемещения ковша в точку разгрузки и возвращения рабочего органа в исходное положение при крайней дальней (ТД) траектории с углом наклона 60° [26, 27].

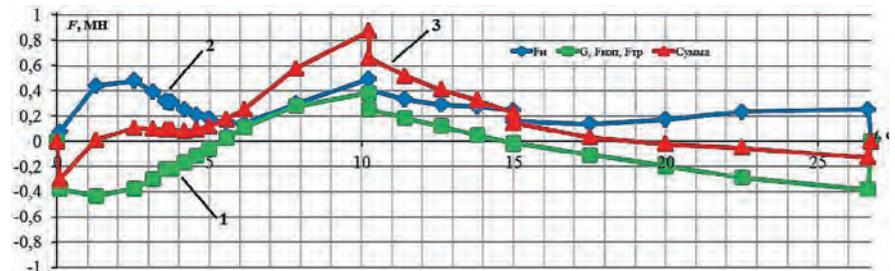


Рис. 1
Изменение усилий F^n , создаваемых подъемной лебедкой экскаватора ЭКГ-18Р в цикле при угле 60° и высоте уступа, равной эксплуатационной

Fig. 1
Changes in F^n forces created by the hoisting winch of the EKG-18R mechanical shovel during a cycle at the angle of 60° and the bench height equal to the operational height

Здесь зеленым цветом (линия 1) представлены суммарные усилия сопротивления (весовые составляющие, силы сопротивления копания и сила трения), спроецированные на условную линию, проходящую через центр поворота и точку копания. Синим цветом (линия 2) – осевая составляющая усилия в канате, создаваемая лебедкой подъема. Красным цветом (линия 3) – результирующая движущих сил и сил сопротивления, отклонение которой от оси ординат указывает необходимую величину напора для осуществления рабочего цикла экскаватора. При этом принято, что положительные значения – это усилие, направленное от забоя (втягивание рукояти).

Суммарные усилия сопротивления в начале цикла имеют отрицательное значение, так как направлены в сторону забоя, затем в точке 5,5 с пересекают ось и становятся положительными, возрастая до момента достижения ковшем высшей точки копания (10,25 с). После чего контакт ковша с забоем прерывается, ковш опускают, позиционируя его под разгрузку. Вновь усилия после пересечения точки разгрузки (15 с) становятся отрицательными. Это обусловлено пересечением рукояти горизонтальной оси и изменением направления составляющих этого усилия в сторону от забоя. Осевая составляющая подъемного усилия в канате всегда положительна, так как ее вектор всегда направлен от забоя.

Результаты

В результате моделирования найдены величины изменения напорного усилия для различных положений и углов наклона траектории (табл. 1). Базовым значением выбрано усилие в точке разгрузки (15 с), которое одинаково для всех траекторий и равно 145 275 Н.

При увеличении расстояния между экскаватором и обрабатываемой траекторией характерно увеличение значений напорного усилия для всех точек, кроме точки 25 с, зависимость изменения значений которой связана со спецификой позиционирования ковша экскаватора.

Для угла наклона 60° при изменении траектории от крайней ближней (ТБ) до крайней дальней (ТД) значения величин напорного усилия для рассматриваемых точек варьируются в диапазоне 0,5–2, для 70° – 0,7–4 и для 80° – 1–5,5.

Таблица 1
Относительная величина напорного усилия

Table 1
Relative value of the crowding force

Характерные точки цикла	Угол наклона траектории движения ковша β , град								
	60			70			80		
t , с	ТБ	ТС	ТД	ТБ	ТС	ТД	ТБ	ТС	ТД
3,76	0,206	0,418	0,631	0,031	0,381	0,731	0,082	0,381	1,151
5,0	0,283	0,551	0,811	0,051	0,593	1,369	0,346	0,661	1,834
7,85	2,026	2,795	3,961	0,354	2,291	4,198	0,852	1,823	4,529
10,25 (1)	4,570	5,292	6,014	2,050	4,282	6,033	0,458	3,257	5,890
10,25 (2)	3,326	3,925	4,527	1,332	3,027	4,412	0,438	2,334	4,350
12,625	2,252	2,515	2,806	1,535	2,130	2,730	1,072	1,866	2,690
15,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
25,0	0,866	0,877	0,628	0,357	0,276	0,297	0,175	0,159	0,082
Сумма	14,53	17,373	20,377	6,711	13,979	20,768	4,424	11,481	21,528

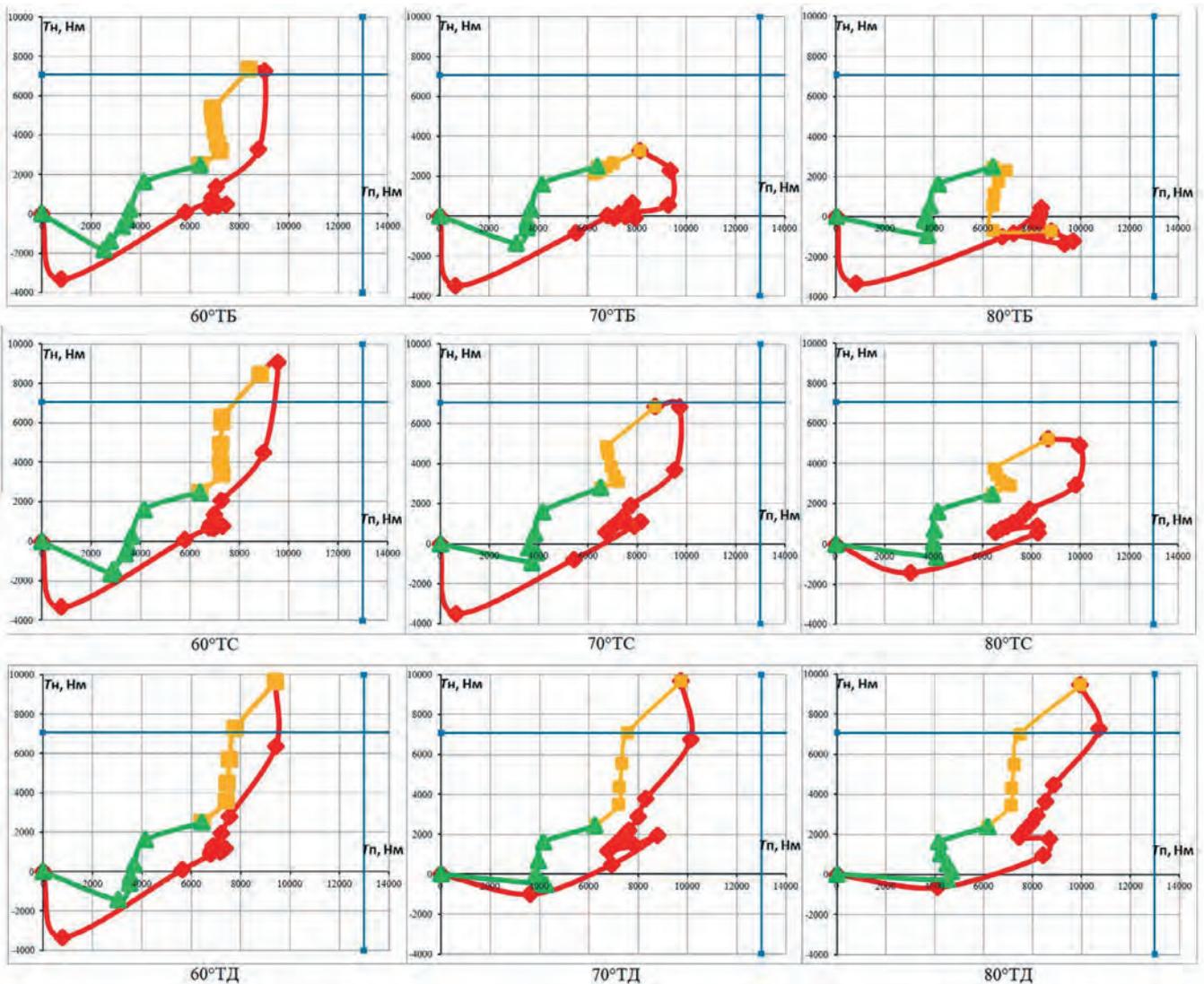


Рис. 2
Взаимосвязь подъема и напора в двигателях экскаватора ЭКГ-18Р при разных траекториях отработки уступа

Fig. 2
The relationship between the hoisting and crowding forces in the EKG-18R mechanical shovel motors at various paths of bench development

При рассмотрении изменения усилия напора для угла наклона траектории движения ковша в 80° разброс усилий в зависимости от положения траектории относительно экскаватора составляет 5,5 раза (для точки 10,25(1) с), в то время как для угла 60° только 1,5 раза для той же точки. Однако при максимальных значениях в крайней дальней траектории (ТД) значение усилия при 80° меньше, чем при других углах.

Выявленные значения можно рассматривать как некоторые оценочные показатели, минимальная сумма которых соответствует экстремуму функции, коей является минимальное усилие, обеспечивающее экскавацию. Подводя итог данному анализу, можно констатировать, что минимальное усилие напора имеет место при крайней ближней траектории (ТБ) с углом наклона 80° и 70° .

Обсуждение

В зависимости от угла наклона и расположения траектории существенно меняется соотношение крутящих моментов двигателей подъема и напора [28, 29]. На рис. 2 представлена взаимосвязь крутящих моментов двигателя напора и одного из двигателей подъема в цикле работы экскаватора для рассматриваемых условий. Цикл начинается в точке начала координат, далее красным цветом обозначен процесс копания, желтым – перемещение ковша в точку разгрузки, зеленым – возвращение в исходное положение. Синие вертикальные и горизонтальные линии соответствуют значениям момента отсечки двигателей подъема и напора соответственно.

Характер получившихся фигур во всех рассматриваемых случаях обладает очевидным подобием с характерными точками. Максимальный момент на двигателе подъема 10702 Нм развивается при крайней дальней траектории (ТД) и с углом 80° и на двигателе напора 9680 Нм при крайней дальней траектории (ТД) с углом 70° .

При увеличении расстояния между экскаватором и отработываемой траекторией значения крутящих момен-

тов двигателей напора и подъема увеличиваются. В то же время при увеличении угла наклона траектории значения момента, развиваемого двигателем напора, в цикле уменьшаются, а на двигателе подъема возрастают.

Момент напора при крайнем дальнем положении при рассматриваемых углах отработки [30–32], а также при рассматриваемых положениях при угле отработки 60° достигает момента отсечки [33, 34]. Соответственно, работа приводов рабочего оборудования в этих положениях нежелательна [35, 36].

Заключение

При проведении комплексного анализа работы приводов рабочего оборудования определено, что при увеличении расстояния между экскаватором и отработываемой траекторией забоя работа, совершаемая двигателем подъема в цикле, снижается, а работа двигателя напора возрастает соответственно. Увеличение угла наклона траектории отработки забоя ведет к тому, что работа подъема возрастает, а напора – снижается при общей тенденции возрастания затраченной работы в цикле на экскавацию с увеличением угла наклона траектории движения ковша.

При этом суммарная работа, совершаемая двигателями подъема и напора, минимальна при крайней ближней траектории (ТБ) (≈ 15700 кДж), а максимальная работа (≈ 17800 кДж) требуется при осуществлении крайней дальней траектории (ТД) с углом наклона в 60° .

На основании вышеизложенного в качестве базовых значений выбраны величины работы при средней траектории (ТС) отработки уступа с углом наклона 70° (для двигателя подъема 7500 кДж и двигателя напора 1500 кДж). Эти значения будут использованы как базовые для дальнейшей корректировки периодичности работ технического обслуживания и ремонта в других условиях эксплуатации, так как выявленные тенденции необходимо учитывать при планировании мероприятий технического обслуживания и ремонта экскаваторов.

Список литературы / References

1. Комиссаров А.П., Набиуллин Р.Ш., Хорошавин С.А., Летнев К.Ю., Огорелков Д.А. Динамика главных механизмов карьерного экскаватора. *Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромышленного оборудования*. 2021;1:8–14.
Komissarov A.P., Nabiullin R.Sh., Horoshavin S.A., Letnev K.Yu., Ogorelkov D.A. Dynamics of the main mechanisms of the quarry excavator. *Aktualnye Problemy Povysheniya Effektivnosti i Bezopasnosti Ekspluatatsii Gornoshakhtnogo i Neftepromyslovogo Oborudovaniya*. 2021;1:8–14. (In Russ.)
2. Васьков В.С. Теоретические основы построения уточненной математической модели процесса экскавации. *Современные проблемы науки и образования*. 2015;(1-1):156. Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=18209> (дата обращения: 27.05.2024).
Vaskov V.S. Theoretical basis for building refined mathematical model of the process of excavation. *Modern Problems of Science and Education*. 2015;(1-1):156. (In Russ.) Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=18209> (accessed: 27.05.2024).
3. Шибанов Д.А., Иванов С.Л., Шешукова Е.И., Недашковская Е.С. Эффективность функционирования карьерного экскаватора как эргатической системы. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(11-1):144–158.
Shibanov D.A., Ivanov S.L., Sheshukova E.I., Nedashkovskaya E.S. Efficiency of operation of a quarry excavator as an ergatic system. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(11-1):144–158. (In Russ.)
4. Бессонов А.Е., Шибанов Д.А., Михайлов А.В., Шишкин П.В. Анализ уровня квалификации оператора карьерного электрического экскаватора по показателям наработки. *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*. 2023;(21):111–116. <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2023-21-111-116>
Bessonov A.E., Shibanov D.A., Mikhailov A.V., Shishkin P.V. Analysis of the qualification level of the operator of a quarry electric excavator by operating time indicators. *Transport, Mining and Construction Engineering: Science and Production*. 2023;(21):111–116. (In Russ.) <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2023-21-111-116>

5. Коршунов В.А., Павлович А.А., Бажуков А.А. Оценка сдвиговой прочности горных пород по трещинам на основе результатов испытаний образцов сферическими инденторами // Записки Горного института. 2023. Т. 262. С. 606-618. DOI: 10.31897/PMI.2023.16
Korshunov V.A., Pavlovich A.A., Bazhukov A.A. Estimation of shear strength of rock fractures based on the results of testing samples with spherical indenters // Notes of Mining Institute. 2023. T. 262. C. 606-618. DOI: 10.31897/PMI.2023.16
6. Костыгова, Д. М., Емельянов А.А. Имитационное моделирование карьерного экскаватора ЭКГ-18Р производства ООО "ИЗ-КАРТЭКС" в тренажере подготовки машинистов / Д. М. Костыгова, А. А. Емельянов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № S23. – С. 177-184. – DOI 10.25018/0236-1493-2017-10-23-177-184
Kostygova, D. M., Emelyanov, A. A. Simulation modeling of the quarry excavator EKG-18R produced by LLC "IZ-KARTEX" in the simulator for training drivers / D. M. Kostygova, A. A. Emelyanov // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). - 2017. - № S23. - C. 177-184. - DOI 10.25018/0236-1493-2017-10-23-177-184
7. Доронин, С. В. Расчеты карьерных экскаваторов с неклассическими конструктивными схемами рабочего оборудования / С. В. Доронин, Ю. Ф. Филиппова // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2016. – №3. – С. 95-103
Doronin, S. V. Calculations of quarry excavators with non-classical structural schemes of working equipment / S. V. Doronin, Y. F. Filippova // Physico-technical problems of mineral resources development. - 2016. - №3. - C. 95-103
8. Певзнер, Л. Д. Управление операцией черпания карьерного экскаватора-мехлопаты с применением нечеткой логики / Л. Д. Певзнер, С. Е. Бабаков // Уголь. – 2012. – №8(1037). – С. 64-67.
Pevzner, L. D. Control of the scooping operation of the mining excavator-mehlopata with the use of fuzzy logic / L. D. Pevzner, S. E. Babakov // Ugol. - 2012. - № 8(1037). - C. 64-67
9. Махно Д.Е., Леоненко А.С., Авдеев А.Н. Принципы управления загрузкой приводов карьерных экскаваторов, обеспечивающие снижение вероятности хрупких разрушений конструкций. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2011;(8):68–76.
Makhno D.E., Leonenko A.S., Avdeev A.N. Principles of controlling the loading of quarry excavator drives, providing a reduction in the probability of brittle fractures of structures. *Izvestiya vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal*. 2011;(8):68–76. (In Russ.)
10. Определение генерального угла наклона борта нижних горизонтов Качарского карьера для обеспечения его устойчивости / Р. О. Макатов, А. З. Сагдиев, А. С. Маликов, В. Н. Долгоносов // Студенческий вестник. – 2020. – №17-6(115). – С. 30-34
Determination of the general inclination angle of the lower horizons of the Kachar quarry to ensure its stability / R. O. Makatov, A. Z. Sagdiev, A. S. Malikov, V. N. Dolgonosov // Student Bulletin. - 2020. - №17-6(115). - C. 30-34. 11. Volokhov, A. V. Prognostic assessment of the stability of the quarry sides / A. V. Volokhov // XXI century. Technosphere safety. - 2021. - Т. 6, №2(22). - С. 201-210. - DOI 10.21285/2500-1582-2021-2-201-210
11. Волохов А.В. Прогнозная оценка устойчивости бортов карьера. XXI век. *Техносферная безопасность*. 2021;6(2):201–210. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-2-201-210>
Volokhov A.V. Predictive assessment of the stability of quarry sides. XXI Century. *Technosphere Safety*. 2021;6(2):201–210. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-2-201-210>
12. Лукашук, О. А. Идентификация положения ковша карьерного экскаватора в забое / О. А. Лукашук, К. Ю. Летнев, М. Д. Лукашук // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. – 2019. – Т. 1. – С. 14-20
Lukashuk, O. A. Identification of the position of the bucket of the quarry excavator in the face / O. A. Lukashuk, K. Y. Letnev, M. D. Lukashuk // Actual problems of improving the efficiency and safety of mining and oilfield equipment operation. - 2019. - Т. 1. - C. 14-20
13. Шешукова Е.И., Шибанов Д.А., Иванов С.Л., Недашковская Е.С. Оценка нагрузок приводов рабочего оборудования карьерного экскаватора (часть 1). *Горная промышленность*. 2024;(3):143–148. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-143-148>
Sheshukova E.I., Shibanov D.A., Ivanov S.L., Nedashkovskaya E.S. Assessment of loads acting on the working attachment of a mine shovel (Part 1). *Russian Mining Industry*. 2024;(3):143–148. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-143-148>
14. Комиссаров А.П., Маслеников 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>
15. Мамай, А. В. Исследование и разработка системы управления взаимосвязанными приводами экскаватора-мехлопаты / А. В. Мамай // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – №11. – С. 395-399. – EDN SOMQZY
Mamai, A. V. Research and development of the control system of interconnected drives of the excavator-mehlopata / A. V. Mamai // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). - 2015. - №11. - C. 395-399. - EDN SOMQZY

16. Костыгова Д.М., Казунин Д.В. Математическое моделирование электрических систем карьерного экскаватора в режиме реального времени. Вестник Санкт-Петербургского университета. *Прикладная математика. Информатика. Процессы управления*. 2017;13(1):81–90. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu10.2017.108>
Kostygova D.M., Kazunin D.V. Mathematical real time model of mining excavator electrical systems. Vestnik of St Petersburg University. *Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes*. 2017;13(1):81–90. (In Russ.) <https://doi.org/10.21638/11701/spbu10.2017.108>
17. Пряхин Е.И., Азаров В.А. Повышение адгезии фторопластовых покрытий к стальным поверхностям труб с перспективой их использования в газотранспортных системах. *Черные металлы*. 2024;(3):69–75. <https://doi.org/10.17580/chm.2024.03.11>
Pryakhin E.I., Azarov V.A. Increasing the adhesion of fluoroplastic coatings to steel surfaces of pipes with a view to their use in gas transmission systems. *Chernye Metally*. 2024;(3):69–75. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/chm.2024.03.11>
18. Gogolynskiy, K. V., Gromyka, D. S., & Kremcheev, E. A. (2021). A modelling of cyclic thermal and impact loads on excavator bucket. *International Review of Mechanical Engineering*, 15(4), 189-196. doi:10.15866/ireme.v15i4.20699
19. Иов И.А., Долгих Е.С., Иов А.А. *Управление динамическим состоянием исполнительных механизмов экскаваторов*. Иркутск: Изд-во ИРНИТУ; 2022. 194 с.
20. 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>
21. Муратов Г.Г., Юлдошов Х.Э., Жураев А.Ш. Требования к электроприводу напора карьерного экскаватора. *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2018;(8):80–82.
Muratov G.G., Yuldoshov H.E., Zhuraev A.Sh. Requirements to electricity cable pressure of career excavator. *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2018;(8):80–82. (In Russ.)
22. Комиссаров А.П., Хорошавин С.А., Летнев К.Ю. Особенности режимов нагружения канатов подъемного и напорного механизмов карьерного экскаватора. *Горное оборудование и электромеханика*. 2020;(5):22–27. <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2020-5-22-27>
Komissarov A.P., Khoroshavin S.A., Letnev K.Yu. Features of loading modes of ropes of lifting and pressure mechanisms of a quarry excavator. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2020;(5):22–27. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2020-5-22-27>
23. Насонов М.Ю., Лыков Ю.В., До Дык Чонг Исследование ресурса и долговечности металлических конструкций экскаваторов после истечения срока эксплуатации // Уголь. 2020. №2. С. 13-17. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-2-13-17
Nasonov M.Yu., Lykov Yu.V., Do Duc Chong Research of resource and durability of metal structures of excavators after the expiration of the service life // Ugol. 2020. №2. С. 13-17. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-2-13-17
24. Абдельвахаб Агагена, Михайлов А.В. Влияние железорудной пыли на изнашивание поверхности штоков гидроцилиндров карьерного экскаватора / Агагена Абдельвахаб, А.В.Михайлов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – No 11-1. – С. 5–23. DOI: 10.25018/02_36_1493_2023_111_0_5
Abdelwahab Aghagena, Mikhailov A.V. Influence of iron ore dust on wear of the surface of hydraulic cylinder rods of the quarry excavator / Aghagena Abdelwahab, A.V.Mikhailov // Mining information-analytical bulletin. - 2023. - No 11-1. - С. 5-23. DOI: 10.25018/02_36_1493_2023_111_0_5
25. Назарычев А.Н. Исследование надежности тягового электропривода карьерных самосвалов на основе анализа отказов его функциональных узлов / А.Н. Назарычев, Г.В. Дяченко, Ю.А. Сычев // Записки Горного института. 2023. Т. 261. С. 363-373. EDN HCLPJB
Nazarychev, A.N. Investigation of the reliability of the traction electric drive of the quarry dump trucks on the basis of failure analysis of its functional units / A.N. Nazarychev, G.V. Dyachenok, Yu.A. Sychev // Notes of Mining Institute. 2023. T. 261. С. 363-373. EDN HCLPJB
26. Касьянов П.А., Шестаков В.С., Захаров А.А. Расчет усилий в подъемных канатах карьерного экскаватора «прямая лопата». В кн.: *Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов 15-й Международной научно-технической конференции, г. Екатеринбург, 20–21 апр. 2017 г.* Екатеринбург: Уральский государственный горный университет; 2017. С. 283–286.
27. Программный продукт для определения положения и визуализации рабочего оборудования одноковшового экскаватора / В. А. Мещеряков [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – №8. – С. 596-601. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-8-596-597.
Software product for position determination and visualization of the working equipment of a single-bucket excavator / V. A. Meshcheryakov [et al.] // Izvestia Tula State University. Technical sciences. - 2023. - №8. - С. 596-601. - DOI 10.24412/2071-6168-2023-8-596-597.
28. Ershov, D. Vibration amplitude and frequency parameters of technological equipment drives / D. Ershov, I. Lukyanenko // Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2021. – Vol. 187. – P. 537-548. – DOI 10.1007/978-981-15-5580-0_44.
29. Zhukovskiy Yu.L., Vasilev B.Y., Korolev N.A., Malkova Y.M. Analysis of the behavior of asynchronous electric drive with a closed scalar control system when changing the inductance of the magnetizing circuit. *Indonesian Journal of Science and Technology*. 2023;8(1):65–78. <https://doi.org/10.17509/ijost.v8i1.51983>

30. Глушченко, А. И. Повышение качества управления электродвигателем постоянного тока на основе его линеаризации и компенсации немоделируемой динамики / А. И. Глушченко, В. А. Петров, К. А. Ласточкин // Управление большими системами: сборник трудов. – 2020. – № 86. – С. 55-97. – DOI 10.25728/ubs.2020.86.3
Glushchenko, A. I. Improving the quality of DC motor control based on its linearization and compensation of unmodeled dynamics / A. I. Glushchenko, V. A. Petrov, K. A. Lastochkin // Management of Large Systems: Proceedings. - 2020. - № 86. - С. 55-97. - DOI 10.25728/ubs.2020.86.3.
31. Соловьев И.В., Михайлов А.В. Анализ грейферной выемки волокнистого торфяного сырья. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2023;15(4):1098–1107. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-4-1098-1107>
Soloviev I.V., Mikhailov A.V. Grab excavation analysis of fibrous peat raw material. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023;15(4):1098–1107. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-4-1098-1107>
32. Сорокин А.В. Разработка системы управления приводами экскаваторов, эксплуатирующихся на горных предприятиях Севера. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2010;(5):83–87.
Sorokin A.V. Development of the control system for the drives of excavators operating at the mining enterprises of the North. *Izvestiya vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal*. 2010;(5):83–87. (In Russ.)
33. 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>
34. Корогодин А.С., Иванов С.Л. Техническое обслуживание и ремонт цапф барабанной мельницы плавучего комплекса горного оборудования. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2023;15(3):760–770. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-3-760-770>
Korogodin A.S., Ivanov S.L. Maintenance and repair of drum mill trunnions of a floating mining equipment complex. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023;15(3):760–770. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-3-760-770>
35. Курганов В.М., Грязнов М.В., Колобанов С.В. Оценка надежности функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов в карьере // Записки Горного института. 2020. Т. 241. С. 10. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.10
Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Kolobanov S.V. Estimation of reliability of functioning of excavator-automobile complexes in a quarry // Notes of Mining Institute. 2020. T. 241. C. 10. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.10
36. Асонов С.А., Иванова П.В., Иванов С.Л., Шишлянников Д.И. Принципы построения модели технического состояния трансмиссии горной машины при ее эксплуатации. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017;(3):15–27.
Asonov S.A., Ivanova P.V., Ivanov S.L., Shishlyannikov D.I. Principles of construction of models of the technical state of transmission of mining machine during its operation. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2017;(3):15–27. (In Russ.)

Информация об авторах

Шешукова Екатерина Игоревна – аспирант кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: katiger@mail.ru

Шибанов Даниил Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

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

Шишкин Павел Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических процессов и машин, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Информация о статье

Поступила в редакцию: 02.06.2024

Поступила после рецензирования: 04.07.2024

Принята к публикации: 15.07.2024

Information about the authors

Ekaterina I. Sheshukova – Postgraduate Student, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

Daniil A. Shibanov – Cand. Sci. (Eng.), Ass. Professor, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

Sergey L. Ivanov – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-7014-2464>; e-mail: Ivanov_SL@pers.spmi.ru

Pavel V. Shishkin – Cand. Sci. (Eng.), Ass. Professor, Department of Transport and Technological Processes and Machines, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

Article info

Received: 02.06.2024

Revised: 04.07.2024

Accepted: 15.07.2024

ТОЧНОСТЬ
Высокая точность анализа фрагментации горных пород без использования эталонных объектов (реперных элементов, мерных линеек)

СКОРОСТЬ РАБОТ
Оперативный фрагментационный анализ развала горных пород после взрывов. Корректировка параметров БВР на его основе.

БЕЗОПАСНОСТЬ
Обеспечение безопасности работ сотрудников в зоне забоя согласно требованиям Ростехнадзора

АВТОНОМНАЯ РАБОТА
Отсутствие необходимости в постоянной связи с сервером

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ОТЧЕТЫ
В режиме онлайн

ПАК ГРАВИКС

Система оценки гранулометрического состава взорванной горной массы на основе ИИ и 3D стереовидения

- ✓ Измерение с расстояния до 30 метров
- ✓ Погрешность измерений – не более 5%
- ✓ Высокое качество фрагментации за счет применения алгоритма глубокого машинного обучения
- ✓ Минимальное время постобработки снимков
- ✓ Сделано в России



ООО «Давтех»
davtech.ru

✉ info@davtech.ru
☎ 8 (343) 266 34 68



Критерии и технологические требования создания мостовой платформы добычи торфяного сырья для климатически нейтральной геотехнологии

А.А. Мякотных✉, П.В. Иванова, С.Л. Иванов

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
✉ Myakotnykh_AA@pers.spmi.ru

Резюме: Развитие технологий добычи торфяного сырья, осуществляющих добычу без водопонижения на месторождениях торфа, требует разработки новых горных машин. Представленное решение позволяет минимизировать уровень деградации ареала, а также влечет необходимость в выборе технологических требований к созданию горных машин для добычи торфяного сырья в указанных условиях разработки. Показаны типы и виды оборудования для добычи торфяного сырья, выявлены инновационные решения комплексов добычи обводненных торфяных месторождений. Для мостовой платформы, функционирующей в условиях неосушенных торфяных месторождений, предложены в качестве критериев создания: непотопляемость, энергоэффективность и готовность, оцениваемая коэффициентом технического использования. Представлен алгоритм определения положения опоры платформы в процессе ее перемещения, адекватность которого подтверждена экспериментально. Поддержание заданного уровня готовности платформы обеспечивается применением помимо базовых бортовых диагностических комплексов еще и системой акустико-эмиссионной экспресс-диагностики состояния рабочей жидкости гидравлических систем.

Ключевые слова: торф, добыча торфа, геотехнология, мостовая платформа, климатическая нейтральность, обводненные месторождения, экспресс-диагностика

Для цитирования: 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>

Criteria and technological requirements for creation of a bridge platform to extract peat raw materials for climate-neutral geotechnology

A.A. Myakotnykh✉, P.V. Ivanova, S.L. Ivanov

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation
✉ Myakotnykh_AA@pers.spmi.ru

Abstract: The development of technologies for extraction of peat raw materials that perform extraction without reducing the water table in peat deposits requires designing of new mining machines. The presented solution makes it possible to minimize the loss of biodiversity in the area, and also entails the need to select the technological requirements for creation of mining machines to extract peat raw materials in the specified conditions. The types and kinds of equipment for extraction of peat raw materials are shown, innovative solutions for the development of flooded peat deposits are specified. The following criteria are proposed for designing a bridge platform to operate in conditions of undrained deposits: unsinkability, energy efficiency and technical availability, assessed through the utilization ratio. To ensure the energy efficiency of the propulsion gear, an algorithm is presented for determining the position of the platform support during its movement, the validity of which has been confirmed experimentally. Maintenance of the specified level of technical availability of the platform is ensured by the use of an acoustic emission rapid diagnostics system to assess the state of the working fluid in hydraulic circuit in addition to the basic on-board diagnostic systems.

Keywords: peat, peat extraction, geotechnology, bridge platform, climate neutrality, water-logged deposits, express diagnostics

For citation: 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>

Введение

Различают две основные стратегии добычи торфа – поверхностно-послойную и карьерную, которые, в свою очередь, включают способы их реализации: механическим рыхлением, экскавацией, посредством гидромеханиза-

ции [1]. На сегодняшний день добыча торфа осуществляется преимущественно фрезерным способом. Несмотря на все преимущества данного способа, технология добычи механическим рыхлением при поверхностно-послойной стратегии осложняется требованием предваритель-

ного водопонижения и необходимостью значительной величины разрабатываемых площадей [2; 3]. Водопонижение, в свою очередь, оказывает негативное воздействие на окружающую среду: приводит к потере биологического разнообразия, ухудшению качества питьевой воды, ведет к деградации почв, потере ее продуктивности и проседанию площадей, повышает природоохранные и экономические риски [4; 5]. При данном подходе также характерны сезонность проведения работ и применение широкой номенклатуры парка узкоспециализированной техники.

При реализации экскаваторных технологий удается уйти от больших площадей разработки, снизить влияние сезонности [7; 8], а в силу извлечения торфяной массы влажностью до 84% [7] сократить уровень запыленности территорий в процессе добычи и хранения, а также снизить вероятность пожаров, но и здесь необходимо проведение предварительного водопонижения для обеспечения прохождения техники по поверхности залежи [9].

Гидромеханизированные технологии добычи торфяного сырья в ряде случаев не требуют водопонижения [10], но применение таких технологий ограничено акваториями рек, водохранилищ или озер, где водопонижение невозможно, а оборудование для добычи в виде земснарядов или понтонов возможно доставить до места добычи только по воде [11; 12].

Стимулирование развития новых технологий разработки месторождений полезных ископаемых обеспечивается государственным регулированием, о чем говорится в Указе Президента Российской Федерации от 28.02.2024 №145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», в котором одним из приоритетных направлений является «снижение негативного воздействия на окружающую среду и климат, повышение возможности качественной адаптации экосистем, населения и отраслей экономики к климатическим изменениям». Таким образом, развитие геотехнологии применительно к торфодобыче требует создания новых технологий добычи торфа [13; 14] на основе развития теоретических основ и принятия практических решений реализации эффективных, климатически нейтральных технологий добычи в условиях обводненности [15–17], а также машин, отличающихся универсальностью, доступностью, самоходностью и плавучестью.

Материалы и методы

Для развития технологий добычи торфяного сырья в условиях обводненности территорий необходимо систематизировать существующие и развивающиеся технологии и комплексы разработки торфяных месторождений, вместе с тем заложить основу развития научного познания новых технологий и комплексов добычи торфяного сырья. Так, в работе [18] была предложена классификация комплексов для разработки торфяных месторождений, в которой учтены признаки существующих комплексов и признаки новых. В данной классификации рассмотрены традиционные комплексы, к которым относятся технологические машины и оборудование для фрезерной, фрезформовочной, экскаваторной, багерной, бульдозерной разработки, для которых необходимо предварительное водопонижение территорий, а также комплексы для разработки обводненных месторождений, в состав которых вошли комплексы, перемещаемые волоком на платформе, плавучие и шагающие комплексы. Если первые категории комплексов основаны на существующих технологиях

(дражная добыча, добыча земснарядом, скважинная гидродобыча и др.), то выделение группы шагающих комплексов является инновационным.

Организация технологического процесса перемещения добычного комплекса, разработки месторождения и транспортирования полученного сырья оказывает существенное влияние на эффективность добычи торфа и на состояние окружающей среды. С целью отказа от водопонижения на торфяных полях при добыче торфа предложена технологическая схема разработки обводненного месторождения. Представленная технология рекомендуется для реализации на месторождениях, характеризующихся глубоководными болотами верхового типа среднего размера, ровным рельефом поверхности и низкой пнистостью. Добычный комплекс выполняет операции следующим образом. Машина по добыче кускового торфа из обводненной залежи осуществляет поперечную или продольную сплошную однобортную разработку от борта до борта карьера на ширину заходки комплекса. Комплекс перемещается по зигзагообразной траектории с разворотом на 180°, достигая условного края карьерного поля. Количество рабочих проходов определяется площадью месторождения в границах промышленной глубины. Комплекс движется по обводненной залежи, обрабатывая участок торфяного месторождения, расположенный позади комплекса, относительно направления движения последнего на заданную или полную мощность залежи. Выемку осуществляют грейферным ковшом. Трансфер экскавированного сырья осуществляется шаттлами, работающими по челноковой схеме на отработанных участках. Добытое сырье перемещается к борту карьера для дальнейшей переработки в промышленных условиях для получения продукта высокого качества.

Такая технологическая схема позволяет минимизировать уровень деградации ареала вызванной степенью осушения уже на стадии подготовки торфяного месторождения, сохраняя степень обводненности территории неизменной. Для реализации предложенной технологии предлагается применение мостовой платформы с опорами в виде герметичных вертикальных цистерн (рис. 1).

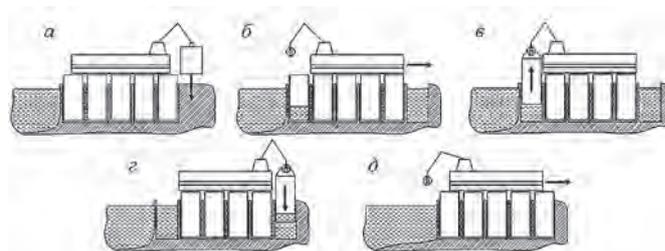


Рис. 1
Схема перемещения добычного комплекса в условиях обводненности

Fig. 1
A movement diagram of the extraction complex operating in water-logged conditions

Непосредственно с моста платформы ковшебуrom создается колодец в залежи по ходу пошагового перемещения комплекса (а), перед этим перемещением крайняя левая опора заполняется водой для предотвращения ее выталкивания под действием силы Архимеда (б); мост перемещают в крайнее правое положение и вновь освобождают опору извлекают с одновременным опорожнением ее от торфяной воды (в), перекачивая последнюю в цистерну шаттла как ценное сырье в качестве продукта

для последующего получения природного биологически активного продукта [19]. Опора выплывает и ее перемещают вперед, устанавливая в предварительно созданный колодец, после чего закачивают балластом в виде очередной порции заборной торфяной воды (з). На установленную таким образом опору наезжает мост, производится выемка полезного ископаемого с тыльной стороны последнего, а для снижения давления на грунт из подтопленной опоры откачивают воду также в цистерну шаттла (д), и цикл повторяется снова.

Для реализации такой технологии был предложен комплекс добычи торфяного сырья «Мостовая плавучая платформа» (пат. №2807666), включающий: мост, поворотные платформы, быки, опоры, упорные лыжи, гидравлическую систему перемещения и гидроманипулятор со сменным навесным оборудованием. Для разработки горной машины, реализующей представленную технологию, необходимо задаться критериями функционирования с учетом автономности ее работы, особенностей конструкции и свойств торфяной залежи [20–22]. В качестве ключевых критериев выбраны: непотопляемость, энергоэффективность механизма перемещения и готовность, определяемая коэффициентом технического использования. Рассмотрим подробнее перечисленные критерии применительно к горной машине, реализующей предлагаемую технологию.

Результаты и обсуждение

Благодаря применению групповых полупогружных опор в форме вертикальных полых цистерн с регулируемым балластом достигается непотопляемость платформы. Под понятием «непотопляемость» в данном случае понимается способность платформы держаться над поверхностью воды. Полые опоры позволяют платформе компенсировать часть ее веса, снижая давление на грунт. Размер опоры выбирается исходя из требуемого уровня снижения давления опоры и уровня расположения платформы над поверхностью воды. Полагая, что вес платформы с оборудованием составляет 60 т, требуемый диаметр опор – 2 м, а их количество равно 8 (расчет нагрузки осуществляется только на 6 опор в силу высвобождения двух крайних опор в процессе перемещения), снижение давления на грунт в этом случае составляет 20%, что обеспечивает гарантированное удержание платформы над поверхностью воды, ее безаварийную работу и непотопляемость.

Энергоэффективность механизма перемещения обеспечивается реализацией алгоритма управления плавучестью опоры и применением силовых гидравлических систем перемещения, а также использованием в качестве балласта заборной торфяной воды, являющейся одним из продуктов добычи. Для реализации перемещения опоры по рациональной траектории, управления ее всплытием и погружением, а также снижения затрат энергии при перемещении опоры был разработан алгоритм ее естественного движения, включающий: оценку нагрузок на опору; уточнение фигур воды внутри опоры и ее части, погруженной в воду, оценку координат центра тяжести и угла наклона опоры.

Список литературы / References

1. Зюзин Б.Ф., Яконовская Т.Б., Жигульская А.И. Системный подход к развитию классификации торфяных машин и оборудования. *Горные науки и технологии*. 2022;7(4):320–329. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-06-06>
Zyuzin B.F., Yakonovskaya T.B., Zhigul'skaya A.I. A systematic approach to the peat machines and equipment classification development. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(4):320–329. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-06-06>

Для проверки теоретических подходов, заложенных в алгоритм, были проведены серии лабораторных экспериментов с моделью опоры, выполненной из оргстекла, в виде полого цилиндра с соотношением высоты к диаметру от 3 до 6. Положения модели для различных условий загрузки фиксировались на камеру. Результаты сравнения экспериментов и теоретических оценок показали хорошую сходимость (не более 3%), что говорит об адекватности теоретических подходов и допущений реальным явлениям.

Поддержание готовности платформы обеспечивается реализацией мероприятий технического обслуживания и ремонта при заданном уровне разукрупнения эшелон технического обслуживания и комплекса методов их реализации в рамках принятой системы теротехнологии. Процессы технического обслуживания и ремонта обладают широким спектром мероприятий, к которым относятся плановое техническое обслуживание, контроль технического состояния, управление отложенными ремонтами, а также поставками запасных частей, процессами выполнения ремонтов, оборотным фондом и т.д. По результатам ряда исследований [23; 24] эффективная эксплуатация горного оборудования возможна только при комбинировании стратегий технического обслуживания и ремонта с применением средств диагностики и мониторинга технических параметров оборудования [25; 26]. Такой подход предполагает широкое внедрение диагностических датчиков, в данном случае в гидравлические системы, а также внедрение бортовых систем, обеспечивающих мониторинг состояния этих агрегатов. Для чего предложены способ и устройство (пат. №2739147) контроля состояния рабочей жидкости гидравлической системы посредством анализа изменений величины акустико-эмиссионного сигнала [27]. Данная экспресс-диагностика позволяет сократить время простоя объекта и снижает риски аварийных отказов, что ведет к повышению коэффициента технического использования.

Заключение

Применение технологий добычи торфяного сырья в условиях обводненности позволяет отказаться от осушения территорий на стадии подготовки месторождения к проведению добычных работ, а также минимизировать уровень деградации ареала в процессе добычи торфа за счет неизменности обводненности территорий. Конструкция опор предлагаемого комплекса способствует обеспечению непотопляемости комплекса при условии группировки опор, а также энергоэффективности ее перемещения. Применение полых опор из близкого к плотности воды материала позволяет сократить величину давления на грунт до 20%. Вместе с тем поддержание готовности комплекса осуществляется посредством внедрения в процесс технической диагностики бортовых систем, позволяющих осуществлять экспресс-оценку технического состояния рабочей жидкости гидравлических систем комплекса для исключения аварийных простоев и снижения временных затрат на ремонт оборудования.

2. Столбикова Г.Е., Купорова А.В. Исследование эффективности осушения производственных площадей добычи торфа. *Труды Инсторфа*. 2023;(27):28–32.
Stolbikova G.E., Kuporova A.V. Study of the efficiency of drainage of production areas of peat extraction. *Trudy Instorfa*. 2023;(27):28–32. (In Russ.)
3. Женихов Ю.Н., Панов В.В., Женихов К.Ю. Разработка торфяных месторождений и охрана окружающей среды. *Труды Инсторфа*. 2023;(28):3–9.
Zhenikhov Yu.N., Panov V.V., Zhenikhov K.Yu. Development of peat deposits and environmental protection. **Trudy Instorfa**. 2023;(28):3–9. (In Russ.)
4. Räsänen A., Albrecht E., Annala M., Aro L., Laine A.M., Maanavilja L. et al. After-use of peat extraction sites – A systematic review of biodiversity, climate, hydrological and social impacts. *Science of the Total Environment*. 2023;882:163583. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163583>
5. Misnikov O. Effect of hydro-physical properties of peat on regulation of peatland drainage systems. *E3S Web of Conferences*. 201;105:01010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910501010>
6. Сирин А.А., Медведева М.А., Иткин В.Ю. Вторичное обводнение неиспользуемых осушенных торфяников и сокращение выбросов парниковых газов. *Известия Российской академии наук. Серия Географическая*. 2023;87(4):597–618. <https://doi.org/10.31857/S258755662304012X>
Sirin A.A., Medvedeva M.A., Itkin V.Y. Rewetting of disused drained peatlands and reduction of greenhouse gas emissions. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 023;87(4):597–618. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S258755662304012X>
7. Пухова О.В. Оценка влияния технологических параметров на полевую сушку торфяного слоя при его добыче. *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки*. 2023;(3):53–61. Режим доступа: <https://vestnik-tekh.ru/files/64ef24ca97d240.22289973.445.pdf> (дата обращения: 19.06.2024).
Pukhova O.V. Assessment impact of technological parameters for field drying of the peat layer during its extraction. *Vestnik Tverskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Seriya: Tekhnicheskie Nauki*. 2023;(3):53–61. (In Russ.) Available at: <https://vestnik-tekh.ru/files/64ef24ca97d240.22289973.445.pdf> (accessed: 19.06.2024).
8. Горлов И.В. Анализ надежности торфяных машин для фрезерного способа добычи. *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки*. 2020;(3):32–39. <https://doi.org/10.46573/2658-5030-2020-3-32-40>
Gorlov I.V. The reliability analysis of peat machines for milling method of production. *Vestnik Tverskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Seriya: Tekhnicheskie Nauki*. 2020;(3):32–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.46573/2658-5030-2020-3-32-40>
9. Соловьев И.В., Михайлов А.В. Анализ грейферной выемки волокнистого торфяного сырья. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2023;(4):1098–1107. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-4-1098-1107>
Soloviev I.V., Mikhailov A.V. Grab excavation analysis of fibrous peat raw material. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023;(4):1098–1107. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-4-1098-1107>
10. Мисников О.С., Купорова А.В. Технологические основы добычи гидрофобно-модифицированного кускового торфа. *Горный журнал*. 2022;(12):34–39. <https://doi.org/10.17580/gzh.2022.12.06>
Misnikov O.S., Kuporova A.V. Technological framework for hydrophobically modified sod peat extraction. *Gornyi Zhurnal*. 2022;(12):34–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2022.12.06>
11. Валиев Н.Г., Гревцев Н.В., Лебзин М.С. Гидромеханизированный способ добычи торфа: современное состояние и перспективы. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2020;(4):141–150.
Valiev N.G., Grevtsev N.V., Lebzina M.S. Current state and perspectives of hydromechanized method for peat production. *Izvestiya Tulsckogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2020;(4):141–150. (In Russ.)
12. Штин С.М., Акулич Ю.В. Технические решения для гидромеханизации в условиях Заполярья. *Гидротехника*. 2023;(3):70–74.
Shtin S.M., Akulich Yu.V. Technical solutions for hydraulic earth-moving in the arctic region. *Hydrotehnika*. 2023;(3):70–74. (In Russ.)
13. Валиев Н.Г., Гревцев Н.В., Егошина О.С., Лебзин М.С. Научно-практические предпосылки создания цифровых природовоспроизводящих геотехнологий для комплексного освоения торфяных ресурсов. *Горный журнал*. 2022;(5):63–68. <https://doi.org/10.17580/gzh.2022.05.09>
Valiev N.G., Grevtsev N.V., Egoshina O.S., Lebzina M.S. Theoretical and applicative background of digital nature-reproductive technologies for integrated peat resources management. *Gornyi Zhurnal*. 2022;(5):63–68. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2022.05.09>
14. Михайлов А.В., Жигульская А.И., Казаков Ю.А. Рациональная технология комплексной разработки торфяных месторождений. *Горная промышленность*. 2024;(1):66–69. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-1-66-69>
Mikhailov A.V., Zhigul'skaya A.I., Kazakov Yu.A. Rational technology for integrated mining of peat deposits. *Russian Mining Industry*. 2024;(1):66–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-1-66-69>
15. Клименко В.В., Клименко А.В., Терешин А.Г., Локтионов О.А. Дорога к климатической нейтральности: через леса под землю. *Энергетическая политика*. 2023;(7):8–25. Режим доступа: <https://energypolicy.ru/doroga-k-klimaticheskoy-nejtralnosti-cherez-lesa-pod-zemlyu/energoperehod/2023/13/14/> (дата обращения: 19.06.2024).
Klimenko V.V., Klimenko A.V., Tereshin A.G., Loktionov O.A. The road to climate neutrality: through the forest underground. *Energy Policy*. 2023;(7):8–25. (In Russ.) Available at: <https://energypolicy.ru/doroga-k-klimaticheskoy-nejtralnosti-cherez-lesa-pod-zemlyu/energoperehod/2023/13/14/> (accessed: 19.06.2024).
16. Straupe I., Lazdiņš A. Afforestation of abandoned peat extraction sites with Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as a solution of climate change mitigation. *Research for Rural Development*. 2021;36:63–69. <https://doi.org/10.22616/rrd.27.2021.009>

17. Rahnama Mobarakeh M., Kienberger T. Climate neutrality strategies for energy-intensive industries: An Austrian case study. *Cleaner Engineering and Technology*. 2022;10:100545. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100545>
18. 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>
19. Шевцова С.П., Фланаган А.Г., Косолапов А.Б. Использование природной торфяной воды для получения биологически активного продукта «Аквагумит». *Успехи современного естествознания*. 2009;(12):33–34. Режим доступа: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=14062> (дата обращения: 19.06.2024).
Shevtsova S.P., Flanagan A.G., Kosolapov A.B. The use of natural peat water to obtain a biologically active product “Aquagumite”. *Advances in Current Natural Sciences*. 2009;(12):33–34. (In Russ.) Available at: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=14062> (accessed: 19.06.2024).
20. Klevtsov V.A., Timofeev D.Yu., Khalimonenko A.D. Improved design of manufacturing processes for mining machines: basing concepts. *Russian Engineering Research*. 2023;43(11):1367–1375. <https://doi.org/10.3103/S1068798X23110151>
21. Paul A., Hussain M., Ramu B. The physicochemical properties and microstructural characteristics of peat and their correlations: reappraisal. *International Journal of Geotechnical Engineering*. 2018;15(6):692–703. <https://doi.org/10.1080/19386362.2018.1483099>
22. George K.J.H., Ahmed A., Hrymak A.N., El Naggar M.H. Material characterisation for natural fibres: compressibility, permeability and friction. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*. 2020;35(2):172–184. <https://doi.org/10.1515/npprj-2019-0084>
23. Андреева Л.И. Выбор стратегии ремонтного обслуживания горной техники. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2021;(4):83–91. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2021-4-83-91>
Andreeva L.I. Choosing a strategy for mining equipment repair service. *Izvestiya vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal*. 2021;(4):83–91. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2021-4-83-91>
24. Кудреватых А.В., Дадонов М.В., Ащеулов А.С., Кудреватых Н.В. К вопросу применения принципов бережливого производства в процессе эксплуатации карьерных автосамосвалов на угольных разрезах. *Уголь*. 2024;(1):64–69. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2024-1-64-69>
Kudrevatykh A.V., Dadonov M.V., Ashcheulov A.S., Kudrevatykh N.V. The issue of applying the principles of lean manufacturing in the operation of dump trucks at coal mines. *Ugol*. 2024;(1):64–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2024-1-64-69>
25. Сычев Ю.А., Назарычев А.Н., Дяченко Г.В. Повышение безопасности труда водителей карьерных самосвалов путем снижения риска возникновения отказов функциональных узлов тягового электропривода в условиях эксплуатации. *Безопасность труда в промышленности*. 2023;(9):52–58. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2023-9-52-58>
Sychev Yu.A., Nazarychev A.N., Dyachenok G.V. Improving the labor safety of mining dump truck drivers by reducing the risk of failure of the functional units of the traction electric drive under operating conditions. *Occupational Safety in Industry*. 2023;(9):52–58. (In Russ.) <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2023-9-52-58>
26. 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>
27. Ivanov S., Knyazkina V., Myakotnykh A. Recording gear-type pump acoustic signals for assessing the hydraulic oil impurity level in a hydraulic excavator transmission. *E3S Web of Conferences*. 2021;326:00014. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132600014>

Информация об авторах

Мякотных Алина Алексеевна – аспирант кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-8982-5476>; e-mail: Myakotnykh_AA@pers.spmi.ru

Иванова Полина Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-8338-418X>

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>

Информация о статье

Поступила в редакцию: 27.05.2024

Поступила после рецензирования: 04.07.2024

Принята к публикации: 08.07.2024

Information about the authors

Alina A. Myakotnykh – Postgraduate Student, Department of Mechanical Engineering, The St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-8982-5476>; e-mail: Myakotnykh_AA@pers.spmi.ru

Polina V. Ivanova – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, The St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-8338-418X>

Sergey L. Ivanov – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Mechanical Engineering, The St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-7014-2464>

Article info

Received: 27.05.2024

Revised: 04.07.2024

Accepted: 08.07.2024



-  ЕРС(М)-ПРОЕКТЫ
-  ИНЖИНИРИНГ
-  ПОСТАВКИ ОБОРУДОВАНИЯ,
ЗАПАСНЫХ И ИЗНАШИВАЕМЫХ
ЧАСТЕЙ, БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА

-  ПРОИЗВОДСТВО
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ
И КОНВЕЙЕРНЫХ СИСТЕМ
-  СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ,
АУТСОРСИНГ
-  ПОДРЯДНОЕ ДРОБЛЕНИЕ



АУТСОРСИНГ ГОРНОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

ЭФФЕКТИВНОСТЬ • КАЧЕСТВО • ЭКОНОМИЧНОСТЬ • НАДЕЖНОСТЬ

- ◆ ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС
- ◆ ИНЖЕНЕРНЫЙ СЕРВИС
- ◆ ПРОМЫШЛЕННЫЙ АУТСОРСИНГ ДСК
- ◆ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ РЕМОНТ
- ◆ МОДЕРНИЗАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

**ГАРАНТИЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ТРЕБУЕМЫХ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ**

16+

РЕКЛАМА



QSGRP.COM
8 800 700 44 06



Контроль и управление геомеханическим состоянием и устойчивостью конструктивных элементов горнотехнических конструкций карьеров на основе сбора и анализа больших данных

М.В. Рыльникова¹, Д.А. Клебанов¹✉, В.В. Рыбин², И.Ю. Розанов²

¹ Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

² Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация
✉ Klebanov_d@ipkonran.ru

Резюме: При освоении месторождений твердых полезных ископаемых горнодобывающие предприятия сталкиваются с большим количеством проблем, связанных с необходимостью разработки и внедрения новых эффективных технологических решений по обработке информации о состоянии горнотехнической системы. Одним из способов решения указанных задач является использование на всех этапах освоения месторождений технологии больших данных, которые способны обеспечить устойчивое развитие горнопромышленных комплексов и эффективное управление геотехнологическими процессами на всех этапах освоения месторождений. Одним из важнейших процессов при открытой разработке месторождений является контроль геомеханических процессов, которые протекают в массиве горных пород и фиксируются системой мониторинга. В статье представлен подход к организации многоуровневой комплексной системы мониторинга устойчивости прибортового массива пород действующих карьеров на основе сбора и анализа больших данных. Предлагаемый подход базируется: 1 – на учете свойств и состояния массива горных пород, 2 – на учёте масштабного уровня контролируемых объектов. Все виды данных от различных типов источников информации должны быть собраны в единую информационную систему, где информация будет использована для автоматизированного расчета критериев оптимальной работы горнотехнической системы. Такой подход соответствует представлениям об иерархично-блочном строении массива пород, в пределах которого ведутся горные работы открытым способом и формируется карьерная выемка. Реализация предлагаемого подхода к контролю устойчивости бортов карьеров требует оснащения горнодобывающих предприятий широким диапазоном средств мониторинга и контроля, организации специальных геомеханических служб, организации единой информационной системы для анализа больших данных, что позволяет обеспечить необходимый уровень безопасности открытых горных работ.

Ключевые слова: большие данные, горнотехническая система, освоение недр, открытая разработка месторождений, геомеханический мониторинг, управление объемами данных, устойчивость бортов карьеров, безопасность ведения горных работ

Благодарности: Статья написана в рамках выполнения гранта Российского научного фонда №22617600142, <https://rscf.ru/project/22617600142/>

Для цитирования: Рыльникова М.В., Клебанов Д.А., Рыбин В.В., Розанов И.Ю. Контроль и управление геомеханическим состоянием и устойчивостью конструктивных элементов горнотехнических конструкций карьеров на основе сбора и анализа больших данных. *Горная промышленность*. 2024;(4):121–128. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-121-128>

Control and management of geomechanical state and stability of structural elements of mining engineering elements in open-pit mines based on Big Data collection and analysis

M.V. Rylnikova¹, D.A. Klebanov¹✉, V.V. Rybin², I.Yu. Rozanov²

¹ Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

² Mining Institute Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation

✉ Klebanov_d@ipkonran.ru

Abstract: When developing solid mineral deposits, mining companies face a large number of challenges related to the need of designing and implementing new efficient technological solutions to process information on the state of the mining engineering system. One of the ways to address these challenges is application of the Big Data technologies at all the field development stages.

Big Data can ensure sustainable development of mining complexes and efficient management of geotechnological processes at all the mining stages. Among the most important processes in surface mining is the control of geomechanical processes that take place in the rock mass and that are recorded by the monitoring system. The article presents an approach to organising a multilevel integrated system for monitoring the stability of the near-wall rock mass of operating open pits based on Big Data collection and analysis. The proposed approach is based on accounting for (1) the properties and the state of the rock mass, (2) the scale level of the controlled structures. All kinds of data from different types of information sources should be collected in a single information system, where this information will be used for automated calculation of criteria for optimal operation of the mining engineering system. This approach is consistent with the concepts of hierarchical-block structure of the rock mass, within which the open-pit mining operations are performed and the open-pit excavation is created. Implementation of the proposed approach to control the stability of open pit walls requires equipping the mining operations with a wide range of monitoring and control equipment, organization of special geomechanical services, creation of a unified information system to analyze the Big Data, which will make it possible to ensure the required level of safety of surface mining operations.

Keywords: big data, mining engineering system, subsoil development, open pit mining, geomechanical monitoring, data volume management, pit wall stability, safety of mining operations

Acknowledgements: The article was prepared within the framework of the Russian Science Foundation Grant No.22617600142, <https://rscf.ru/project/22617600142/>

For citation: Rylnikova M.V., Klebanov D.A., Rybin V.V., Rozanov I.Yu. Control and management of geomechanical state and stability of structural elements of mining engineering elements in open-pit mines based on Big Data collection and analysis. *Russian Mining Industry*. 2024;(4):121–128. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-121-128>

Введение

Современная горнодобывающая промышленность, играющая ведущую стратегическую роль в развитии национальной экономики России, сталкивается с множеством проблем, связанных с необходимостью разработки и внедрения новых эффективных технологических решений по обработке информации о состоянии горнотехнической системы (ГТС) при освоении месторождений твердых полезных ископаемых. По мнению ряда исследователей, использование на всех этапах освоения месторождений технологии больших данных (Бод) в эпоху ускоренного развития информационных и коммуникационных технологий призвано обеспечить устойчивое развитие горнопромышленных комплексов и эффективное управление геотехнологическими процессами [1].

Основное отличие традиционных логических исследований от исследования Бод заключается в том, что первые, как правило, сосредоточены на причинно-следственных связях, в то время как при исследовании Бод используется аналитическая индукция, применимая к огромному количеству специфической информации при освоении земных недр для статистического поиска, сравнения, синхронизации и классификации с использованием методов корреляционного анализа. Подразумевается, что существует определенная закономерность в отношениях между значениями двух или более переменных, а также скрытые корреляционные связи в наборах данных. В этом случае определение неочевидных на первый взгляд взаимосвязей между данными, поступающими из разных источников в пределах одной горнотехнической системы, позволит открывать и исследовать новые модели, знания и законы, обеспечивающие рациональное управление технологическими процессами горного предприятия. Кроме того, научное сообщество отмечает, что причинно-следственные связи параметров горнотехнических систем весьма зависимы от вмешательства человеческого фактора, тогда как исследования Бод способны в значительной степени снизить это влияние за

счет интеллектуального анализа данных для поиска корреляционных зависимостей и отбраковки случайных и фоновых значений.

Одним из важнейших процессов при открытой разработке месторождений является контроль геомеханических и геотехнологических процессов. Рассмотрим данный процесс как совокупность способов и методов, собирающих информацию о горном массиве.

Формирование на горных предприятиях систем контроля, управления и безопасности геомеханических процессов должно отвечать нескольким основным требованиям. Прежде всего система мониторинга должна быть комплексной, взаимодополняющей и многоуровневой. Иными словами, система должна сочетать нескольких методов исследований, которые взаимно дополняют друг друга и дают информацию о состоянии массива горных пород на различных масштабных уровнях.

Задачи контроля и оценки устойчивости функционирования горнотехнических систем методами геомеханического мониторинга

По длительности проведения различают два вида мониторинга: долгосрочный и оперативный [2]. Долгосрочный мониторинг организуется и функционирует длительный период отработки карьера (5 и более лет). Оперативный мониторинг обеспечивает контроль устойчивости участков бортов и уступов карьеров (разрезов) в локальных зонах, в зонах критических или развивающихся деформаций, в рабочих зонах и на участках расположения внутрикарьерной инфраструктуры.

Основными задачами долгосрочного мониторинга являются [2]:

- обнаружение признаков и прогноз развития крупномасштабных деформаций;
- своевременное оповещение технического руководителя о превышении критериев безопасности;
- разработка превентивных мероприятий по противодействию развитию деформаций.

Основными задачами оперативного мониторинга являются [2]:

- обнаружение признаков развития деформаций в рабочей зоне;
- оперативный контроль устойчивости откосов;
- своевременное оповещение технического руководителя о развитии деформационных процессов;
- разработка мероприятий по обеспечению устойчивости откосов бортов карьеров.

Кроме того, учитывая иерархично-блочное строение массива горных пород, виды и объемы областей деформирования и разрушения в зависимости от задач и масштабов мониторинга также можно подразделять на региональный и локальный уровни.

В задачи регионального мониторинга входит [3]:

- наблюдение за процессами деформирования массива горных пород, вмещающего эксплуатируемое месторождение;
- районирование карьера на отдельные участки по выявленному характеру процесса деформирования массива;
- выявление участков борта карьера, потенциально опасных с точки зрения устойчивости.

К задачам локального мониторинга относятся [3]:

- наблюдения за выявленными потенциально опасными участками деформирования массива горных пород;
- контроль состояния потенциально опасных участков бортов;
- прогнозирование развития процессов обрушения;
- анализ причин, характера и параметров деформаций и обрушений пород;
- разработка мероприятий по устранению локальных нарушений в массиве бортов.

Применяемые методы могут варьироваться в зависимости от конкретного горнотехнического объекта, но, как правило, состоят из комплекса геодезических, сейсмических и локальных методов контроля геомеханического состояния массива горных пород как на поверхности, так и в прибортовой зоне [4–6].

Характеристика основных методов комплексной системы мониторинга геомеханического состояния массива горных пород в соответствии с классификацией цифровых источников данных

С учетом классификации цифровых источников данных горнотехнических систем [7] рассмотрим каждую из систем геомеханического мониторинга как отдельный источник информации. Данная классификация является наиболее полной для горнотехнической системы с точки зрения определения источников цифровых данных и организации их сбора по признаку объекта их получения, поскольку классификация позволяет на этапе проектирования для каждого физического объекта обосновать порядок ввода источника информации в эксплуатацию, определить параметры получаемых сигналов и принципы их трансформации в цифровую форму и при необходимости установить требования к частоте получаемых данных, а также формат, пригодный для обработки, анализа, длительного хранения и условий использования данных.

Традиционные геодезические методы включают в себя такие классические методы, как нивелирные измерения I, II, III и IV классов и дальномерные измерения с помо-

щью тахеометров, и до сих пор остаются популярными в отечественной практике геомеханического мониторинга. Измерения выполняются как на базе системы фундаментальных геодезических пунктов, сформированной по периметру карьерной выемки, горного и земельного отводов горнодобывающего предприятия, так и на основе систем временных реперов, размещенных в пределах зон потенциальной неустойчивости откосов бортов. При выполнении подобных измерений объем получаемой информации зависит от размеров геомеханического полигона и количества опорных и рабочих пунктов. В среднем за одно измерение объем информации может составлять не более 1–2 Мб.

Также к числу геодезических методов относятся методы спутниковой геодезии, позволяющие контролировать перемещения в пределах всего геоблока, включающего в себя горный и земельный отводы горнодобывающего предприятия. Измерения выполняются приемниками, использующими в основном наиболее развитые в настоящее время системы GPS и ГЛОНАСС навигации. Приемники устанавливаются на фундаментальные пункты полигона. В основном для измерения медленных смещений в масштабе всего борта применяется методика статических измерений с последующей обработкой данных в специализированных программных комплексах. Объем получаемых данных также зависит от количества измеряемых пунктов и в среднем составляет 5 Мб в сутки от каждого приемника (инструмент находится на фундаментальном пункте 24 ч и запись осуществляется 1 раз в 30 с).

На рис. 1 приведен пример фундаментального полигона, на котором выполнялись как GNSS измерения, так и дальномерные измерения с помощью тахеометра.

Наземное и воздушное лазерное сканирование применяется в основном для картирования и изучения геологических структур в массиве горных пород, а также для создания цифровой модели рельефа (ЦМР). Однако при сравнении двух моделей уступов можно установить объем измененного рельефа местности и тем самым определить участки борта карьера или вмещающего массива, которые подвержены наибольшей деформации и разрушению. В данном случае объем получаемой информа-

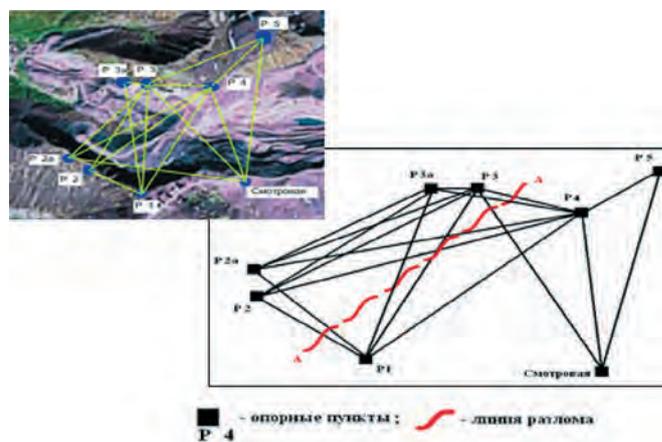


Рис. 1
Общая конфигурация сети фундаментальных пунктов в карьере

Fig. 1
A general layout of the permanent bench mark grid in the open-pit mine

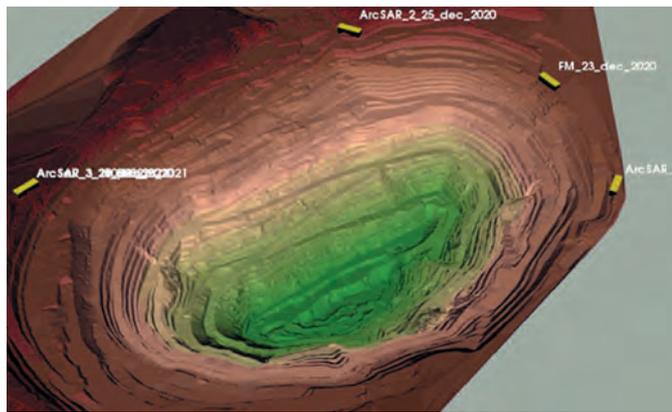


Рис. 2
Схема организации системы радарного мониторинга в карьере: коричневым цветом отмечена верхняя часть бортов карьера; зелёным – глубинная часть карьера; жёлтые прямоугольники – места установки радаров устойчивости, их номер и тип

Fig. 2
A schematic representation of the radar monitoring system in the open pit: brown colour indicates the upper part of the open pit walls; the deep part of the open pit is marked in green; the yellow boxes indicate the locations of the stability radars, their number and type

ции зависит от размера объекта мониторинга, а также выбранной детализации и в среднем может составлять от 500 Мб до 1,5–2 Гб в сутки.

Одним из самых эффективных и широко используемых в отечественной и зарубежной практике методов мониторинга устойчивости бортов и уступов карьеров является метод наземных радарных измерений. Измерения, выполняемые радаром, основаны на использовании эффекта наложения (интерференции) электромагнитных волн. Ключевыми преимуществами данных систем являются периодичность измерений, которая в среднем составляет около 2 мин, и то, что измерения могут выполняться при любых погодных условиях, а также значительной запыленности и загазованности. В среднем один радар передает 2 Гб информации в сутки.

На рис. 2 представлена схема организации системы радарного мониторинга, в которой используется 4 радара.

Сейсмические методы включают в себя прежде всего систему микросейсмического контроля, с помощью которой можно отслеживать процессы роста и раскрытия трещин в законтурном массиве и тем самым прогнозировать начало потери устойчивости ещё до первых её проявлений непосредственно на контуре карьерной выемки (так называемый пассивный сейсмический метод) (рис. 3) [8]. Данная система является автоматизированной и способна самостоятельно выделять «полезную» информацию для дальнейшей обработки. Объем поступаемых «полезных» данных зависит от характеристик тех процессов, которые происходят в самом карьере (например, выполнение технологических операций), а также от событий, которые происходят в законтурном массиве. В среднем объем данных при фиксации одного события составляет 20 Мб.

Помимо микросейсмических методов хорошо зарекомендовали себя геофизические методы, основанные на принципах разведочной геофизики (активные сейсмические методы). В частности, широко применяются методы сейсмической томографии, требующие организации

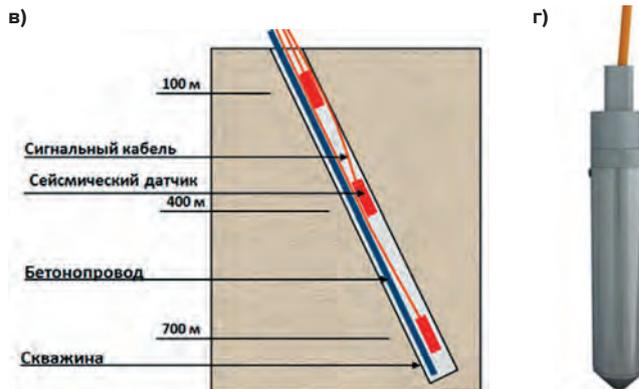
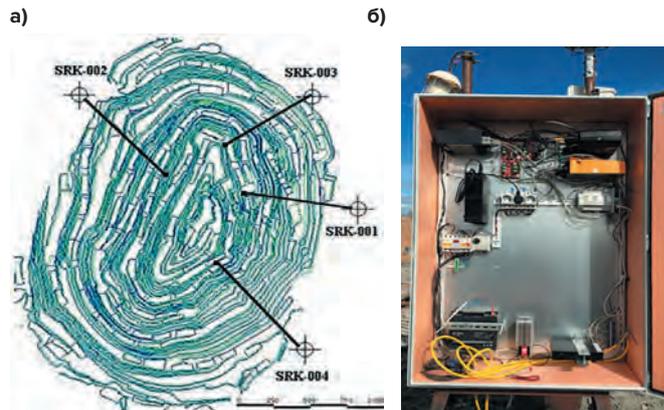


Рис. 3
Организация системы микросейсмического контроля законтурного массива горных пород: а – расположение скважины с размещением сейсмических датчиков на контуре бортов карьера; б – пункт регистрации результатов мониторинга у устья скважины; в – схема расположения датчиков в скважинах; г – вид сейсмического датчика

Fig. 3
Arrangement of the microseismic control system of the surrounding rock mass: а – location of boreholes with seismic sensors at the edge of the pit walls; б – a station for recording the monitoring results at the borehole head; в – layout of the sensors in the boreholes; г – a view of the seismic sensor

стационарного полигона в пределах карьера и дающие там более точный результат, и сейсмопрофилирования, эксплуатирующие временные полигоны и не требующие предварительной подготовки, но обеспечивающие меньшую точность результатов [9]. Геофизические методы разведочной геофизики применяются в выявленных зонах локальной неустойчивости в карьере (рис. 4). В данном случае объем информации зависит от длины полигона и составляет в среднем 40–50 Мб.

Также в выявленных опасных зонах неустойчивости в карьере применяются локальные методы контроля. Эти методы, как правило, основаны на использовании специально пробуренных в опасных зонах скважинах. К числу локальных методов относятся: телевизионная съёмка стволов скважин, позволяющая давать количественную оценку изменения уровня трещиноватости в массиве горных пород с глубиной, оценивать уровень обводненности отдельных участков массива, выделять различные варианты геофизического каротажа, в частности, ультразвукового, позволяющие получать геофизическую

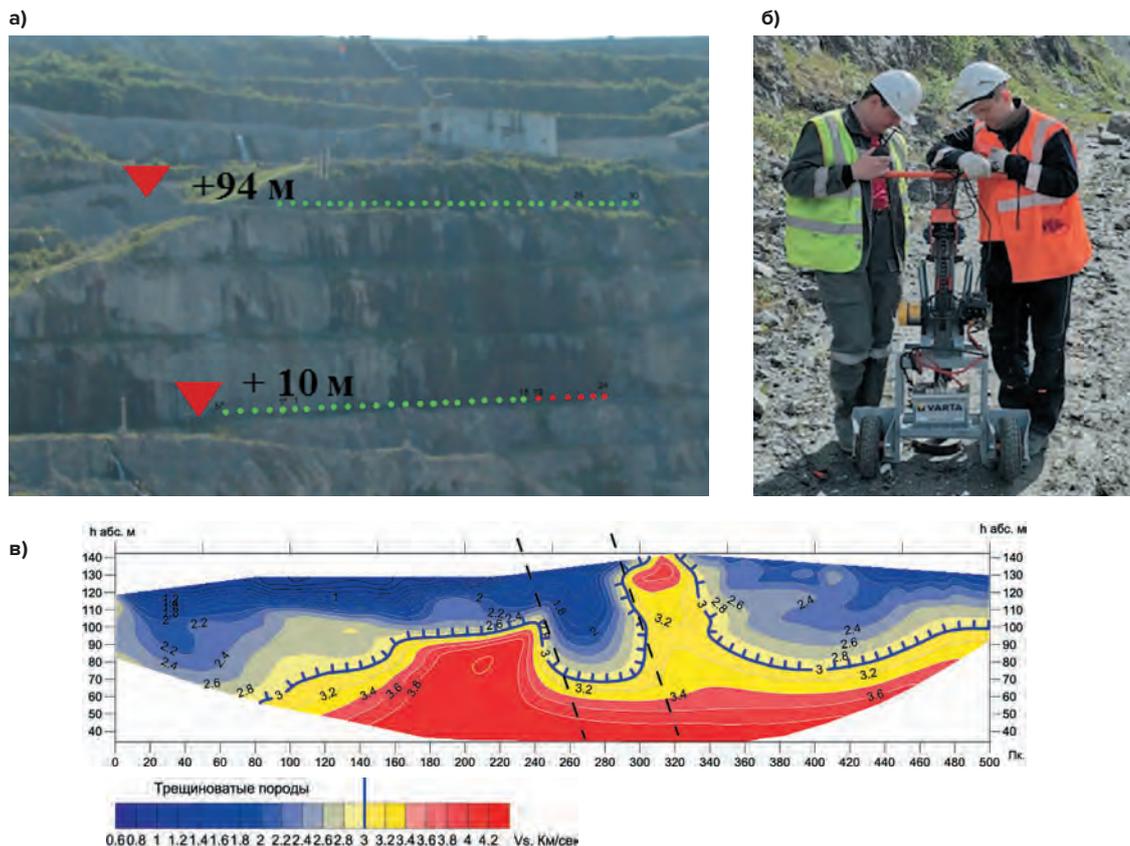


Рис. 4
Общая схема сейсмического полигона (а), общий вид применяемого оборудования, обеспечивающий источник сейсмических импульсов (б), и скоростная модель поперечных (VS) волн исследуемого участка борта карьера (в)

Fig. 4
A general layout of the seismic test site (a), a general view of the equipment used, providing the source of seismic pulses (б) and a velocity model of transversal (VS) waves of the investigated part of the open pit wall (в)

и геомеханическую информацию в глубинном массиве горных пород (рис. 5). Объем получаемой видеoinформации зависит от количества наблюдаемых скважин и их длины. В среднем для одной скважины длиной 50 м объем составляет 200–300 Мб.

Для наблюдений за скрытыми смещениями в массиве горных пород, а также для определения местоположения поверхности скольжения в борту карьера используются датчики мониторинга глубинных деформаций, такие как различного рода инклинометры, скважинные экстензометры, рефлектометры и др.

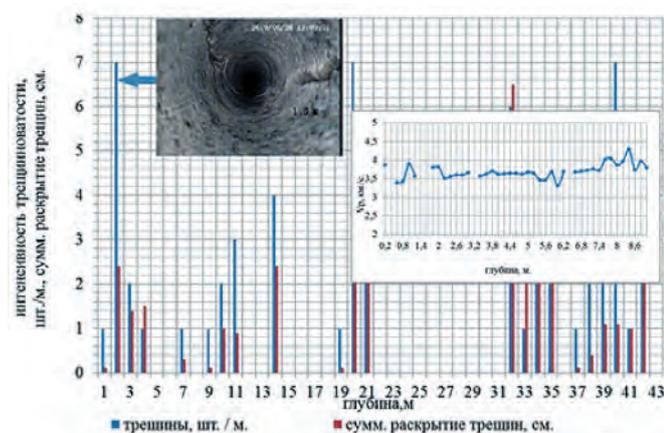


Рис. 5
Сопоставительный анализ результатов исследования приборного массива пород комплексом локальных методов (телевизионной съёмки ствола скважины и ультразвукового каротажа околоскважинного массива пород)

Fig. 5
Benchmarking studies of the survey results of the near-wall rock mass using a set of local methods (video survey of the borehole and ultrasonic logging of the near-borehole rock mass)

Инклинометр представляет собой прибор, размещаемый в наблюдательной скважине, как правило, обсаженной стальной или полиэтиленовой трубой для регистрации бокового смещения. В процессе деформации обсадные трубы скважины перемещаются и искривляются согласно сдвижениям в массиве. Эти изменения автоматически измеряются определением наклона чувствительного элемента инклинометра. Методы инклинометрии позволяют определять пространственную ориентировку стволов наблюдательных скважин, интенсивность их искривления в процессе деформирования массива, ориентировку искривления в пространстве и, соответственно, смещение в массиве горных пород.

Скважинные экстензометры используются для наблюдения за изменениями расстояния между одним или более анкерами, закрепленными в скважине и ее устье. По этим изменениям определяются смещения массива горных пород в направлении вдоль оси скважины. Экстензометры чаще всего используют для мониторинга выявленных структурных нарушений, которые влияют на устойчивость откосов. Объем информации, получаемый от такого рода датчиков сдвижения, приблизительно составляет 2 Мб в сутки.

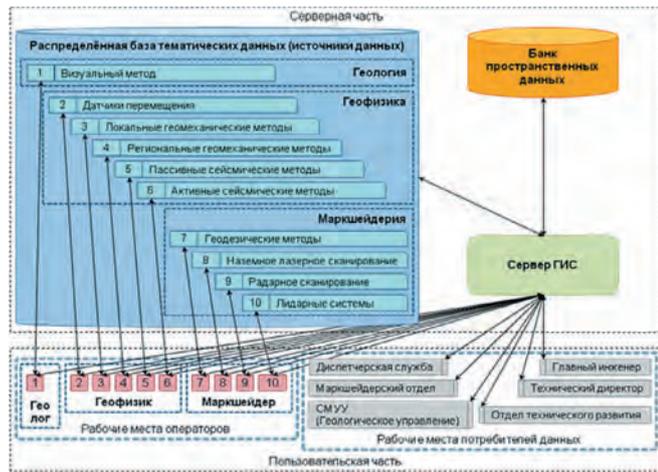


Рис. 6
Структурная схема организации системы мониторинга устойчивости конструктивных элементов горнотехнических конструкций карьеров на основе сбора и анализа больших данных
Источник: [4]

Fig. 6
A structural diagram of arranging a system to monitor the stability of structural elements of mining engineering elements in open-pit mines based on Big Data collection and analysis
Source: [4]

Организация системы сбора, хранения, анализа, сортировки и оперативного контроля показателей для принятия мер реагирования

Организация и работа комплексной системы мониторинга, которая включает описанные методы, должна осуществляться специально организованной геомеханической службой горного предприятия при методическом сопровождении научной организации. При этом некоторые работы, связанные с мониторингом устойчивости, применением отдельных методов контроля, могут выполняться подрядными организациями, располагающими соответствующими специалистами и оборудованием.

Взаимодействие между геомеханической службой и руководством горнодобывающего предприятия должно быть организовано на базе горной геоинформационной системы, общая схема которой показана на рис. 6. В рамках данной системы организуются автоматизированные рабочие места сотрудников геомеханической службы предприятия различной специализации (геолог, геофизик, маркшейдер, геомеханик и др.), информация о геомеханической ситуации передаётся на рабочее место технического директора (главного инженера), главных специалистов предприятия, в диспетчерскую службу и др. (см. рис. 6).

Таблица 1
Объемы информации при организации системы мониторинга устойчивости конструктивных элементов горнотехнических конструкций карьеров

Table 1
Volumes of information in arranging a system to monitor the stability of structural elements of mining engineering elements in open-pit mines

Тип источника данных	Частота генерации данных	Объем данных, передаваемых от источника в год	Тип данных
Нивелирные измерения 1, 2, 3 и 4-го классов	1–2 МБ за съемку. Съемка производится 4–10 раз в год	20 МБ	Текстовый файл
Спутниковый мониторинг реперных точек (геодезический метод)	5 МБ в сутки (в зависимости от кол-ва точек контроля)	1825 МБ	Текстовый файл
Радарный метод мониторинга	2 ГБ в сутки. На некоторых предприятиях в рамках одной горнотехнической системы используется несколько радаров.	730 000 МБ	Формат данных может быть различным в зависимости от фирмы производителя. Как правило, данные должны содержать информацию об индикаторе (номер) ячейки (пикселя), координаты центра пикселя, о фазе сигнала, амплитуде, коэффициенте отражения и т.д.
Наземное или воздушное лазерное сканирование	1,5–2 ГБ в сутки	730 000 МБ	Формат данных также может различаться и содержать в себе облако точек и следующую информацию: координаты точки, дальность до точки, вертикальный и горизонтальный углы, амплитуду сигнала, коэффициент отражения, а также информацию о реальном цвете объекта (RGB)
Сейсмический метод мониторинга	20 МБ за одну фиксацию 1 точки. В среднем 5–10 точек на ГТС	8000 МБ	Текстовый файл
Геофизический метод мониторинга деформаций бортов	40–50 МБ за одно измерение	16 000 МБ	Текстовый файл
Телевизионная съемка стволов скважин	200–300 Мб за съемку	800 МБ	Видео
Скважинные экстензометры	2 Мб в сутки	7300 МБ	Текстовый файл

Обобщив и просуммировав данные, которые собираются от различных источников геомеханического мониторинга массива горных пород, получаем, что в год комплексная система мониторинга, где информация собирается как дискретно, при фиксации события, связанного с деформацией массива горных пород, так и непрерывно, формирует не менее 1,5 ТБ данных в год.

Обобщенная таблица, которая включает объемы информации при организации системы мониторинга устойчивости конструктивных элементов горнотехнических конструкций карьеров, представлена в табл. 1.

С учетом формирования производных показателей от собираемых разноразмерных данных и их объема можно классифицировать собираемые и расчетные параметры как Большие данные.

При этом объем информации от различных источников данных напрямую не зависит от скорости получения данных, так, например, данные георадаров могут превышать десятки гигабайт, а данные сейсмодатчиков и нивелирные измерения о состоянии горного массива – не более 15–20 Гб в год. Классификация с точки зрения объема получаемой информации имеет значение для создания систем хранения данных, при этом методы обработки данных зависят в основном от типа данных, а не объема получаемой информации. Исходные данные от всех источников загружаются в так называемые Data Lake – облака данных, которое принимает любые файлы всех форматов. Источник данных тоже не имеет никакого значения. Уже потом, когда данные сохранены, с ними можно работать – извлекать по определенному шаблону в классические базы данных или анализировать и обрабатывать прямо внутри data lake (озеро данных) [10].

Пока методы автоматизированного анализа всей информации из вышеописанных источников не применяются в России, хотя каждый из методов мониторинга формирует информацию, которая самостоятельно имеет ценность и рассматривается каждой из служб как значи-

мая. Таким образом, для применения в будущем для решения различных задач оптимизации работы горнодобывающего предприятия с развитием методов обработки больших данных преимуществом может служить использование систем сбора неструктурированной информации и применение методов анализа всех видов данных из систем мониторинга. За счет того, что данные собираются из различных источников и не проходят первичной трансформации и агрегации, возможно формулировать неявные гипотезы и проверять их реализуемость. Например, для оптимизации декадного планирования горных работ определить критичные показатели данных каждого из методов мониторинга.

Заключение

Предлагаемый подход к организации многоуровневой комплексной системы мониторинга устойчивости прибортового массива пород действующих карьеров на основе сбора и анализа больших данных базируется, с одной стороны, на учёте свойств и состояния массива горных пород, с другой стороны, на учёте масштабного уровня контролируемых объектов. Все виды данных от различных типов источников информации должны быть собраны в единую информационную систему, где информация будет использована для автоматизированного расчёта критериев оптимальной работы горнотехнической системы. Такой подход в полной мере соответствует представлениям об иерархично-блочном строении массива пород, в пределах которого ведутся горные работы открытым способом и формируется карьерная выемка. Реализация предлагаемого подхода к контролю устойчивости бортов карьеров требует оснащения горнодобывающих предприятий широким диапазоном средств мониторинга и контроля, организации специальных геомеханических служб, организации единой информационной системы для анализа больших данных, что позволяет обеспечить необходимый уровень безопасности открытых горных работ.

Список литературы / References

1. Захаров В.Н., Гвишиани А.Д., Вайсберг Л.А., Дзеранов Б.В. Большие данные и устойчивое функционирование горнотехнических систем. *Горный журнал*. 2021;(11):45–52. <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.11.06>
Zakharov V.N., Gvishiani A.D., Vaisberg L.A., Dzeranov B.V. Big Data and sustainable functioning of geotechnical systems. *Gornyi Zhurnal*. 2021;(11):45–52. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.11.06>
2. Рыльникова М.В., Алексеев А.Б., Есина Е.Н., Зотеев О.В., Ливинский И.С., Макаров А.Б. и др. *Методические указания по оценке рисков развития деформаций, мониторингу и управлению устойчивостью бортов и уступов, карьеров, разрезов и откосов отвалов*. М.: ИПКОН РАН; 2022. 90 с.
3. Rozanov I.Yu., Zavyalov A.A. Specifics in organization of the slope stability monitoring in high-strength hard rock massif of the Kovdor deposit. In: Litvinenko V. (ed.) *Topical Issues of Rational Use of Natural Resources 2019*. Vol. 1: Proceedings of the XV International Forum-Contest of Students and Young Researchers under the auspices of UNESCO (St. Petersburg Mining University, Russia, 13–17 May 2019). London: CRC Press; 2019, pp. 229–234. <https://doi.org/10.1201/9781003014577-29>
4. Рыбин В.В., Константинов К.Н., Каган М.М., Панасенко И.Г. Принципы организации комплексной системы мониторинга устойчивости объектов горнодобывающего предприятия. *Горный журнал*. 2020;(1):53–57. <https://doi.org/10.17580/gzh.2020.01.10>
Rybin V.V., Konstantinov K.N., Kagan M.M., Panasencko I.G. Methodology of integrated stability monitoring in mines. *Gornyi Zhurnal*. 2020;(1):53–57. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2020.01.10>

5. Рыбин В.В., Константинов К.Н., Наговицын О.В. Структура комплексной системы мониторинга устойчивости объектов открытых горных работ с применением цифровых технологий. *Физико-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых*. 2021;(4):70–77. <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20210407>
Rybin V.V., Konstantinov K.N., Nagovitsyn O.V. Structure of integrated stability monitoring in open pit mining using digital technologies. *Journal of Mining Science*. 2021;57(4):601–606. <https://doi.org/10.1134/S1062739121040074>
6. Рыбин В.В., Константинов К.Н., Розанов И.Ю. Многоуровневый подход к организации мониторинга устойчивости бортов карьеров. *Физико-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых*. 2021;(5):106–113. <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20210510>
Rybin V.V., Konstantinov K.N., Rozanov I.Y. A multilevel approach to pitwall stability monitoring. *Journal of Mining Science*. 2021;57(5):805–811. <https://doi.org/10.1134/S1062739121050100>
7. Захаров В.Н., Каплунов Д.Р., Клебанов Д.А., Радченко Д.Н. Методические подходы к стандартизации сбора, хранения и анализа данных при управлении горнотехническими системами. *Горный журнал*. 2022;(12):55–61. <https://doi.org/10.17580/gzh.2022.12.10>
Zakharov V.N., Kaplunov D.R., Klebanov D.A., Radchenko D.N. Methodical approaches to standardization of data acquisition, storage and analysis in management of geotechnical systems. *Gornyi Zhurnal*. 2022;(12):55–61. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2022.12.10>
8. Каган М.М., Чернобров Д.С. Мониторинг сейсмоактивности прибортового массива карьера на основе сейсморегистраторов в глубоких скважинах за конечным контуром. *Горная промышленность*. 2023;(S1):84–88. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S1-84-88>
Kagan M.M., Chernobrov D.S. Monitoring of seismic activity in near-wall rock masses of open pits using seismic recorders in deep boreholes beyond the final pit boundary. *Russian Mining Industry*. 2023;(1 Suppl.):84–88. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S1-84-88>
9. Рыбин В.В., Константинов К.Н., Старцев Ю.А. Оценка динамики изменения упругих характеристик массива пород в борту карьера. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2023;(5):40–46.
Rybin V.V., Konstantinov K.N., Startsev Yu.A. Time history of elastic characteristics in pitwall rock mass. *Fiziko-Tekhnicheskie Problemy Razrabotki Poleznykh Iskopaemykh*. 2023;(5):40–46. (In Russ.)
10. Захаров В.Н., Клебанов Д.А., Макеев М.А., Радченко Д.Н. Анализ методов подготовки и преобразования информации, поступающей в хранилища данных для эффективного управления горнотехнической системой. *Горная промышленность*. 2023;(5S):10–17. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5S-10-17>
Zakharov V.N., Klebanov D.A., Makeev M.A., Radchenko D.N. Analysis of methods to prepare and transform information entering data repositories for effective management of the mining system. *Russian Mining Industry*. 2023;(5S):10–17. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5S-10-17>

Информация об авторах

Рыльникова Марина Владимировна – доктор технических наук, профессор, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: rylnikova@mail.ru

Клебанов Дмитрий Алексеевич – кандидат технических наук, зав. лабораторией интеллектуальных систем и цифровых технологий, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: Klebanov_d@ipkonran.ru

Рыбин Вадим Вячеславович – доктор технических наук, главный научный сотрудник, Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация

Розанов Иван Юрьевич – кандидат технических наук, научный сотрудник, Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация

Information about the authors

Marina V. Rylnikova – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; e-mail: rylnikova@mail.ru

Dmitry A. Klebanov – Cand. Sci. (Eng.), Head of Laboratory of Intelligent Systems and Digital Technologies, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; e-mail: Klebanov_d@ipkonran.ru

Vadim V. Rybin – Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Chief of Laboratory of Geomonitoring and Slope Stability, Rock Mechanics Department, Mining Institute Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation

Ivan Yu. Rozanov – Cand. Sci. (Eng.), Research Scientist, Mining Institute Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation

Информация о статье

Поступила в редакцию: 25.05.2024

Поступила после рецензирования: 04.07.2024

Принята к публикации: 08.07.2024

Article info

Received: 25.05.2024

Revised: 04.07.2024

Accepted: 08.07.2024



ООО «Спецмаш» — российский производитель оборудования и поставщик комплексных технологических решений для обогащения руд и угля



ЭКСКЛЮЗИВНОЕ ПАРТНЕРСТВО



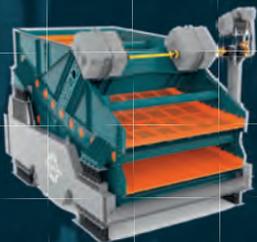
ООО «Спецмаш» — эксклюзивный дистрибьютор на территории Российской Федерации компании "Shandong Huate Magnet Technology Co., Ltd", мирового лидера в области магнитной сепарации.



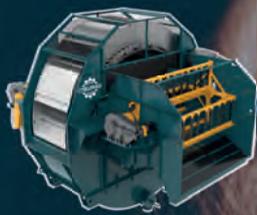
НАШИ ПРЕИМУЩЕСТВА

- ✓ Инжиниринговый центр в г. Санкт-Петербург
- ✓ Два крупных завода общей площадью 45 000 м²
- ✓ Лабораторные исследования полезных ископаемых
- ✓ Реализация проектов под ключ (EPC)
- ✓ Шеф-монтажные, пуско-наладочные работы, сервисное и постгарантийное сопровождение
- ✓ Индивидуальный подход к Заказчику
- ✓ Более 20 лет на рынке
- ✓ Более 1000 единиц произведенной продукции

НАШЕ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ



Грохоты и питатели



Тяжелосредние сепараторы для обогащения угля



Флотационные машины



Отсадочные машины для обогащения угля



Магнитные сепараторы

<https://ooo-specmash.ru/>

16+

РЕКЛАМА



Анализ эффективности внедрения предиктивного обслуживания горнодобывающего оборудования на основе технологий Индустрии 4.0

К.В. Харченко✉, А.Ж. Зубец, Е.И. Москвитина, Л.М. Бабаян, А.М. Лаффах

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация

✉ KVKharchenko@fa.ru

Резюме: Горнодобывающая промышленность играет ключевую роль в мировой экономике, обеспечивая сырьем различные отрасли. Однако эффективность эксплуатации горнодобывающего оборудования остается серьезной проблемой из-за высоких затрат на обслуживание и простоев, вызванных отказами. Актуальность исследования обусловлена потенциалом применения технологий Индустрии 4.0 для повышения эффективности обслуживания горнодобывающего оборудования. Цель работы – оценить эффективность внедрения систем предиктивного обслуживания, основанных на технологиях Индустрии 4.0, и разработать рекомендации по их развитию в отрасли. Методология включает анализ уровня внедрения технологий за 2013–2023 гг., сбор данных по КПЭ для оценки влияния предиктивного обслуживания, исследование экономической эффективности инвестиций, разработку моделей прогнозирования отказов и оптимизации стратегий обслуживания. Результаты показали значительный рост уровня внедрения технологий Индустрии 4.0, улучшение КПЭ и высокую экономическую эффективность инвестиций в системы предиктивного обслуживания. Разработанные модели продемонстрировали точность прогнозирования отказов и оптимизации стратегий обслуживания. Сформулированы рекомендации по эффективному внедрению систем предиктивного обслуживания с учетом специфики отрасли. Исследование имеет теоретическую значимость для развития концепции предиктивного обслуживания и практическую ценность для горнодобывающих предприятий. Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку отраслевых стандартов и интеграцию систем предиктивного обслуживания с другими процессами управления.

Ключевые слова: горнодобывающая промышленность, предиктивное обслуживание, Индустрия 4.0, эффективность эксплуатации, техническая готовность, машинное обучение, большие данные

Для цитирования: Харченко К.В., Зубец А.Ж., Москвитина Е.И., Бабаян Л.М., Лаффах А.М. Анализ эффективности внедрения предиктивного обслуживания горнодобывающего оборудования на основе технологий Индустрии 4.0. *Горная промышленность*. 2024;(4):130–138. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-130-138>

Analyzing the efficiency of implementing predictive maintenance of mining equipment based on Industry 4.0 technologies

K.V. Kharchenko✉, A.Zh. Zubets, E.I. Moskvitina, L.K. Babayan, A.M. Laffah

Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

✉ KVKharchenko@fa.ru

Abstract: The mining industry plays a key role in the global economy, providing raw materials to various industries. However, the operational efficiency of mining equipment remains a serious issue due to high maintenance costs and downtime caused by its failures. The relevance of the study is defined by the potential of using the Industry 4.0 technologies to improve the efficiency of mining equipment maintenance. The purpose of the work is to evaluate the efficiency of implementing predictive maintenance systems based on the Industry 4.0 technologies and to develop recommendations for their development in the industry. The methodology includes an analysis of the technology adoption level in 2013–2023, collection of the KPI data to assess the impact of predictive maintenance, studying the economic efficiency of investments, the development of models for predicting failures and optimizing maintenance strategies. The results showed a significant increase in the implementation level of the Industry 4.0 technologies, improved KPIs and high economic efficiency of investments in predictive maintenance systems. The developed

models demonstrated high accuracy of failure prediction and optimization of the maintenance strategies. Recommendations are formulated for the efficient implementation of predictive maintenance systems with account for the specific features of the industry. The research has theoretical significance for the development of the predictive maintenance concept and practical value for the mining enterprises. Further research may be directed towards the development of the industry standards and the integration of predictive maintenance systems with other management processes.

Keywords: mining industry, predictive maintenance, Industry 4.0, operational efficiency, technical availability, machine learning, big data

For citation: Kharchenko K.V., Zubets A.Zh., Moskvitina E.I., Babayan L.K., Laffah A.M. Analyzing the efficiency of implementing predictive maintenance of mining equipment based on Industry 4.0 technologies. *Russian Mining Industry*. 2024;(4):130–138. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-130-138>

Введение

Традиционные методы обслуживания, основанные на регламентных работах или ремонтах после выхода оборудования из строя, не позволяют в полной мере использовать потенциал современных технологий для повышения надежности и производительности техники [1; 2].

Развитие технологий Индустрии 4.0, таких как Интернет вещей (IoT), большие данные и машинное обучение, открывает новые возможности для перехода к предиктивному обслуживанию горнодобывающего оборудования [3]. Предиктивное обслуживание предполагает непрерывный мониторинг состояния оборудования с помощью датчиков и анализ собираемых данных для выявления потенциальных проблем до их возникновения [4]. Это позволяет оптимизировать стратегии обслуживания, снизить затраты на ремонты и повысить коэффициент технической готовности оборудования [5].

Несмотря на очевидные преимущества, внедрение систем предиктивного обслуживания в горнодобывающей отрасли сопряжено с рядом вызовов, таких как высокие начальные инвестиции, необходимость интеграции с существующими системами управления, обеспечение кибербезопасности и подготовка квалифицированных кадров. Поэтому для принятия обоснованных решений о внедрении предиктивного обслуживания требуется всесторонний анализ его эффективности с учетом отраслевой специфики [6].

Целью настоящего исследования является оценка эффективности внедрения систем предиктивного обслуживания горнодобывающего оборудования, основанных на технологиях Индустрии 4.0, и разработка рекомендаций по их дальнейшему развитию и применению в отрасли. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать текущее состояние и перспективы применения технологий Индустрии 4.0 в области обслуживания горнодобывающего оборудования.
2. Собрать и проанализировать данные о влиянии предиктивного обслуживания на эффективность эксплуатации горнодобывающего оборудования.
3. Исследовать экономическую эффективность внедрения систем предиктивного обслуживания горнодобывающего оборудования на основе технологий Индустрии 4.0.
4. Разработать модели прогнозирования отказов оборудования и оптимизации стратегий обслуживания на основе данных, собираемых системами предиктивного обслуживания.

5. Сформулировать рекомендации по эффективному внедрению и использованию систем предиктивного обслуживания горнодобывающего оборудования на основе технологий Индустрии 4.0.

Решение поставленных задач позволит получить комплексное представление об эффективности применения предиктивного обслуживания в горнодобывающей отрасли и определить наиболее перспективные направления его развития. Результаты исследования будут иметь значение как для развития теоретических основ концепции предиктивного обслуживания, так и для практического внедрения его принципов на горнодобывающих предприятиях с целью повышения эффективности и безопасности производства [6].

Методы

Для достижения поставленной цели и решения сформулированных задач в исследовании использовался комплекс методов, включающий анализ литературных источников, сбор и обработку эмпирических данных, статистический анализ, экономико-математическое моделирование и экспертный опрос.

На первом этапе был проведен систематический обзор научных публикаций, посвященных применению технологий Индустрии 4.0 для предиктивного обслуживания горнодобывающего оборудования. Поиск источников осуществлялся в базах данных Scopus, Web of Science и IEEE Xplore по ключевым словам «predictive maintenance», «Industry 4.0», «mining equipment» за период с 2013 по 2023 г. Из найденных 1524 публикаций после анализа аннотаций и полных текстов были отобраны 124 наиболее релевантные работы, которые легли в основу теоретико-методологической базы исследования.

Эмпирическую базу исследования составили данные о внедрении технологий Индустрии 4.0 и показателях эффективности эксплуатации горнодобывающего оборудования, собранные по 50 крупнейшим горнодобывающим компаниям из Австралии, Канады, США, Китая и России за период с 2013 по 2023 г. Сбор данных осуществлялся путем анализа годовых отчетов компаний, отраслевых обзоров и баз данных, а также через запросы в отделы технического обслуживания и ремонтов. Для обеспечения сопоставимости и надежности данных использовались единые шаблоны сбора информации и процедуры верификации.

Для оценки уровня внедрения технологий Индустрии 4.0 использовалась 5-балльная шкала зрелости, учитывающая охват оборудования системами мониторинга (0 – отсутствие, 5 – полный охват), глубину анализа дан-

ных (0 – отсутствие, 5 – продвинутая аналитика) и уровень интеграции с системами управления производством (0 – отсутствие, 5 – полная интеграция). Итоговый показатель уровня внедрения (УВ) рассчитывался как среднее значение по трем критериям:

$$УВ = \frac{ОО+ГА+УИ}{3},$$

где ОО – охват оборудования; ГА – глубина анализа; УИ – уровень интеграции.

В качестве ключевых показателей эффективности эксплуатации горнодобывающего оборудования были выбраны коэффициент технической готовности (КТГ), средняя наработка на отказ (СНО) и удельные затраты на техническое обслуживание и ремонт (УЗТО) [7–11]. КТГ рассчитывался как отношение времени исправной работы оборудования к общему времени работы, СНО – как отношение общего времени работы к количеству отказов, УЗТО – как отношение затрат на ТОиР к объему производства:

$$КТГ = \frac{ВИР}{ВИР + ВР};$$

$$СНО = \frac{ВИР + ВР}{КО};$$

$$УЗТО = \frac{ЗТОиР}{ОП},$$

где ВИР – время исправной работы; ВР – время ремонтов; КО – количество отказов; ЗТОиР – затраты на ТОиР; ОП – объем производства.

Для анализа влияния предиктивного обслуживания на эффективность эксплуатации оборудования была сформирована выборка из 30 предприятий, внедривших системы предиктивного обслуживания, и контрольная группа из 20 предприятий, использующих традиционные методы обслуживания. Для исключения влияния прочих факторов предприятия подбирались по принципу максимального подобия характеристик (размер, тип добываемого сырья, регион, производственные процессы) [12–14]. Проверка статистической значимости различий между группами по показателям КТГ, СНО и УЗТО проводилась с помощью t-теста Стьюдента и U-теста Манна-Уитни на уровне $\alpha=0.05$.

Экономическая эффективность инвестиций в системы предиктивного обслуживания оценивалась на основе показателей чистого дисконтированного дохода (NPV), внутренней нормы доходности (IRR) и срока окупаемости (PP). Для расчета NPV использовалась ставка дисконтирования, определенная методом САРМ с учетом отраслевых рисков [15]. Денежные потоки от инвестиций прогнозировались на основе данных о снижении затрат на ремонты, повышении производительности, сокращении простоев и экономии на штрафах за нарушение экологических требований.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0;$$

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} - I_0;$$

$$PP = \min n: \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \geq I_0,$$

где – денежный поток в период ; – ставка дисконтирования; – начальные инвестиции.

Для прогнозирования отказов оборудования и оптимизации стратегий обслуживания были использованы методы машинного обучения – временные ряды (ARIMA, LSTM) и деревья решений (Random Forest, XGBoost) [16]. Обучение моделей проводилось на данных о состоянии узлов и агрегатов оборудования, собираемых системами предиктивного обслуживания (температура, вибрация, давление и др.). Качество моделей оценивалось на тестовой выборке с помощью метрик точности (Accuracy), полноты (Recall), F1-меры и площади под ROC-кривой (AUC) [17; 18].

Для оптимизации стратегий обслуживания была разработана модель, минимизирующая суммарные затраты на ТОиР при ограничениях на допустимый уровень рисков отказов. Модель учитывает прогнозы наработки оборудования до отказа, стоимость плановых и внеплановых ремонтов, а также возможные убытки от простоев:

$$\min TC = \sum_{i=1}^m \left(C_{ij}^p \cdot x_{ij} + C_{ij}^f \cdot (1-x_{ij}) + C_i^d \cdot \max \left(0, T_i - \sum_{j=1}^n t_{ij} \cdot x_{ij} \right) \right)$$

$$s. t. P_i(T_i) \leq R_i^{max}, \forall i$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall i, j,$$

где – суммарные затраты на ТОиР; – количество единиц оборудования; – количество вариантов стратегий обслуживания для -й единицы; C_{ij}^p – затраты на плановое обслуживание по j-й стратегии для -й единицы; C_{ij}^f – затраты на внеплановый ремонт; C_i^d – удельные потери от часа простоя -й единицы; – директивный срок работы -й единицы; – ожидаемая наработка -й единицы при -й стратегии; R_i^{max} – максимально допустимый риск отказа -й единицы; () – вероятность безотказной работы -й единицы в течение часов; x – булева переменная выбора -й стратегии для -й единицы.

Завершающий этап исследования включал экспертный опрос 25 специалистов по техническому обслуживанию и ремонтам из крупнейших горнодобывающих компаний. Целью опроса было определение ключевых факторов успеха и потенциальных барьеров при внедрении систем предиктивного обслуживания в отрасли. Опрос проводился методом полуструктурированного интервью по видеосвязи, длительность интервью составляла 40–60 мин. Результаты опроса были обработаны методом контент-анализа с выделением смысловых категорий и оценкой частоты их упоминания.

Результаты

Анализ уровня внедрения технологий Индустрии 4.0 для предиктивного обслуживания горнодобывающего оборудования в ведущих странах-производителях за период 2013–2023 гг. показал устойчивый рост данного показателя. Средний уровень внедрения увеличился с 1,2 балла в 2013 г. до 3,8 балла в 2023 г. по 5-балльной шкале зрелости. Наиболее высокие темпы внедрения отмечены в Австралии (средний годовой прирост 0,41 балла) и Канаде (0,36 балла), в то время как в России и Китае этот показатель составил 0,28 и 0,26 балла соответственно.

Дисперсионный анализ (ANOVA) выявил статистиче-

Таблица 1
Уровень внедрения технологий Индустрии 4.0 для предиктивного обслуживания горнодобывающего оборудования в ведущих странах-производителях за 2013–2023 гг

Страна	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	CAGR
Австралия	1,5	1,8	2,1	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	4,4	4,7	5,0	0,41
Канада	1,4	1,7	2,0	2,3	2,7	3,1	3,5	3,9	4,3	4,6	4,9	0,36
США	1,3	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,7	4,0	4,3	0,32
Китай	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	0,28
Россия	0,9	1,1	1,3	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	0,26
В среднем	1,2	1,5	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	3,4	3,7	4,0	4,3	0,33

Table 1
The implementation level of the Industry 4.0 technologies for predictive maintenance of mining equipment in the leading manufacturing countries for 2013–2023

ски значимые различия в уровне внедрения технологий Индустрии 4.0 между странами ($F(4,45) = 12,37, < 0,001$). Post hoc тесты показали, что уровень внедрения в Австралии и Канаде значимо выше, чем в США ($p=0,023$ и $= 0,041$), Китае ($< 0,001$ и $= 0,002$) и России ($< 0,001$ и $< 0,001$). В то же время различия между Австралией и Канадой, а также между США, Китаем и Россией оказались статистически незначимыми ($> 0,05$).

Корреляционный анализ выявил сильную положительную связь между уровнем внедрения технологий Индустрии 4.0 и размером компании, измеренным логарифмом выручки ($= 0,68, < 0,001$). Регрессионный анализ показал, что увеличение размера компании на 1% ассоциировано с повышением уровня внедрения на 0,011 балла ($\beta = 0,011, SE = 0,003, < 0,001$). Эта закономерность устойчива при контроле страновых различий и типа добываемого сырья.

Сравнительный анализ ключевых показателей эффективности (КПЭ) эксплуатации горнодобывающего оборудования в группе предприятий, внедривших системы предиктивного обслуживания, и в контрольной группе за период 2013–2023 гг. продемонстрировал значимое улучшение КПЭ в экспериментальной группе (рис. 1).

Средний коэффициент технической готовности (КТГ) оборудования в группе предиктивного обслуживания вырос с 0,85 в 2013 г. до 0,96 в 2023 г., в то время как в контрольной группе рост составил с 0,84 до 0,89. Двухфакторный дисперсионный анализ (mixed ANOVA) выявил значимое влияние фактора группы ($F(1,48) = 39,52, < 0,001$) и фактора времени ($F(10,480) = 22,84, < 0,001$) на КТГ, а также значимую интеракцию между этими факторами

Таблица 2
Сравнение ключевых показателей эффективности эксплуатации горнодобывающего оборудования при использовании предиктивного обслуживания (ПО) и традиционных методов (ТМ) за 2013–2023 гг.

Показатель	Группа	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
КТГ	ПО	0,85	0,86	0,88	0,89	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,96
	ТМ	0,84	0,85	0,86	0,86	0,87	0,87	0,88	0,88	0,89	0,89	0,89
СНО, ч	ПО	5200	5600	6000	6500	7100	7700	8300	8900	9300	9600	9800
	ТМ	5100	5200	5300	5500	5600	5800	5900	6100	6200	6300	6400
УЗТО, \$/т	ПО	12,5	11,7	10,9	10,1	9,3	8,6	8,0	7,4	6,9	6,5	6,2
	ТМ	12,7	12,3	12,0	11,6	11,3	11,0	10,6	10,3	10,0	9,8	9,6



Рис. 1
Уровень внедрения технологий Индустрии 4.0 по странам

Fig. 1
The implementation level of the Industry 4.0 technologies by country

($F(10,480) = 5,61, < 0,001$). Это означает, что динамика КТГ в двух группах значимо различается, при этом в группе предиктивного обслуживания рост происходит быстрее.

Аналогичные закономерности выявлены для средней наработки на отказ (СНО) и удельных затрат на техническое обслуживание и ремонт (УЗТО). СНО в экспериментальной группе выросла с 5200 до 9800 ч, в контрольной – с 5100 до 6400 ч. УЗТО снизились в экспериментальной группе с 12,5 до 6,2 долл/т, в контрольной – с 12,7 до 9,6 долл/т. Влияние факторов группы и времени, а также их интеракции статистически значимы на уровне $< 0,001$ для обоих показателей.

Table 2
Comparison of the key performance indicators of mining equipment operation using predictive maintenance (PO) and traditional methods (TM) for 2013–2023

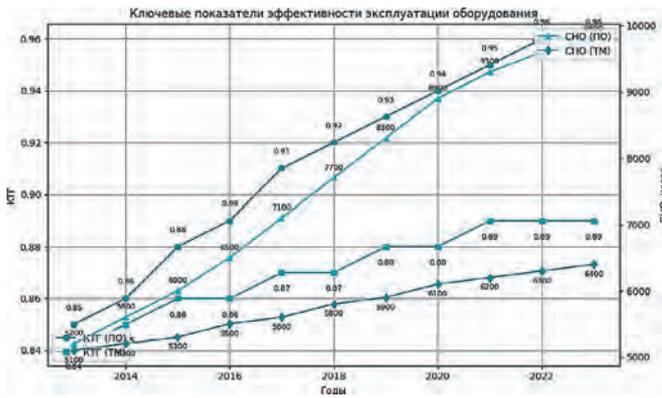


Рис. 2
Ключевые показатели эффективности эксплуатации оборудования

Fig. 2
Key performance indicators of equipment operation

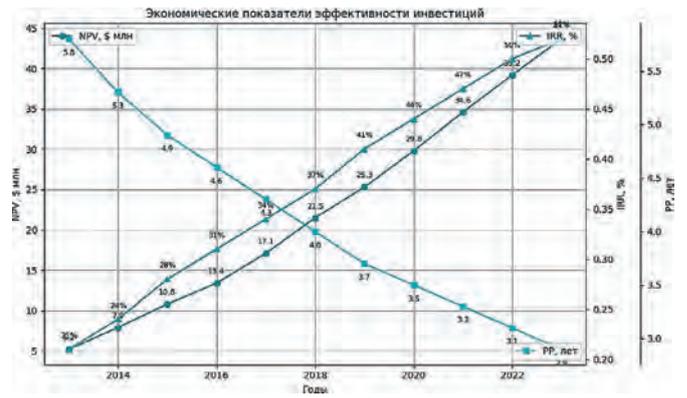


Рис. 3
Экономические показатели эффективности инвестиций

Fig. 3
Economic indicators of the investment efficiency

Таблица 3
Экономические показатели эффективности инвестиций в системы предиктивного обслуживания горнодобывающего оборудования на основе технологий Индустрии 4.0 за 2013–2023 гг.

Table 3
Economic indicators of the investment efficiency in predictive maintenance systems for mining equipment based on the Industry 4.0 technologies for 2013–2023

Показатель	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
NPV, млн дол.	5,2	7,9	10,8	13,4	17,1	21,5	25,3	29,8	34,6	39,2	43,7
IRR, %	21	24	28	31	34	37	41	44	47	50	52
PP, лет	5,8	5,3	4,9	4,6	4,3	4,0	3,7	3,5	3,3	3,1	2,9

Факторный анализ методом главных компонент (PCA) идентифицировал два латентных фактора, объясняющих 78% дисперсии исходных переменных КТГ, СНО и УЗТО. Первый фактор (52% объясненной дисперсии) интерпретирован как «эффективность эксплуатации оборудования», второй (26% дисперсии) – как «качество обслуживания». Средние значения факторов значительно различаются между экспериментальной и контрольной группой ($t(48) = 7,21, < 0,001$ для первого фактора, $t(48) = 5,94, < 0,001$ для второго фактора).

Анализ экономической эффективности инвестиций в системы предиктивного обслуживания горнодобывающего оборудования на основе технологий Индустрии 4.0 за период 2013–2023 гг. выявил их высокую отдачу. Средний чистый дисконтированный доход (NPV) от инвестиций в системы предиктивного обслуживания на одно предприятие составил 28,4 млн \$, внутренняя норма доходности (IRR) – 39%, срок окупаемости (PP) – 3,8 года (рис. 2).

Регрессионный анализ панельных данных со случайными эффектами (random effects model) показал, что увеличение уровня внедрения технологий Индустрии 4.0 на 1 балл ассоциировано с приростом NPV на 7,6 млн \$ ($\beta = 7,61, SE = 1,93, < 0,001$), IRR – на 4,2 п.п. ($\beta = 4,17, SE = 1,12, < 0,001$) и сокращением PP на 0,4 года ($\beta = -0,39, SE = 0,11, < 0,001$) при контроле индивидуальных эффектов предприятий. Таким образом, экономическая отдача от инвестиций растет с повышением уровня зрелости внедряемых решений.

Анализ чувствительности NPV к изменениям ключевых параметров (стоимость внедрения, горизонт плани-

рования, ставка дисконтирования) методом Монте-Карло показал высокую устойчивость полученных оценок. В 95% симуляций NPV остается положительным при вариации параметров в диапазоне $\pm 20\%$. Value at Risk (VaR) с уровнем доверия 95% составляет 4,1 млн \$, что свидетельствует о низком риске убыточности инвестиций.

Апробация разработанных моделей прогнозирования отказов оборудования и оптимизации стратегий обслуживания на реальных данных горнодобывающих предприятий продемонстрировала их высокую эффективность. Модели машинного обучения на основе временных рядов (ARIMA, LSTM) показали среднюю точность прогнозирования отказов (Accuracy) на уровне 0,87, полноту (Recall) – 0,81, F1-меру – 0,84. Деревья решений (Random Forest, XGBoost) обеспечили точность 0,92, полноту 0,88 и F1-меру 0,90. AUC для обоих классов моделей превысила 0,90 (рис. 3).

Оптимизация стратегий обслуживания на основе прогнозных моделей позволила дополнительно снизить удельные затраты на ТОиР на 12–18% при сохранении целевых уровней надежности. Верификация оптимальных стратегий на данных предприятий 2022–2023 гг., не входивших в обучающую выборку, подтвердила их эффективность и устойчивость к изменениям производственной среды.

Наиболее часто упоминаемыми факторами успеха стали: поддержка высшего руководства (92% респондентов), наличие четкой стратегии и дорожной карты внедрения (88%), кросс-функциональное взаимодействие между ИТ, ТОиР и производством (84%), компетенции в области анализа данных (80%), понимание экономических

Таблица 4
Результаты апробации моделей прогнозирования отказов оборудования и оптимизации стратегий обслуживания на реальных данных горнодобывающих предприятий

Table 4
Results of testing models for predicting equipment failures and optimizing maintenance strategies based on real data from mining enterprises

Модель	Accuracy	Recall	Precision	F1	AUC
ARIMA	0,86	0,80	0,84	0,83	0,91
LSTM	0,88	0,82	0,86	0,84	0,93
Random Forest	0,91	0,87	0,90	0,89	0,95
XGBoost	0,93	0,89	0,92	0,91	0,97
Оптимизация стратегий	-12%*	-	-	-	-

* Примечание: Снижение удельных затрат на ТОиР в результате оптимизации стратегий обслуживания.

выгод (76%). Ключевыми барьерами были названы: высокие начальные инвестиции (72%), неготовность ИТ-инфраструктуры (64%), недостаток квалифицированных кадров (60%), сопротивление изменениям (56%), риски кибербезопасности (52%).

Таблица 5
Ключевые факторы успеха и потенциальные барьеры при внедрении систем предиктивного обслуживания в горнодобывающей промышленности по результатам экспертного опроса

Table 5
Key success factors and potential barriers in the implementation of predictive maintenance systems in the mining industry based on the results of an expert survey

Факторы и барьеры	Доля респондентов, %	
Факторы успеха	Поддержка высшего руководства	92
	Наличие четкой стратегии и дорожной карты внедрения	88
	Кросс-функциональное взаимодействие между ИТ, ТОиР и производством	84
	Компетенции в области анализа данных	80
	Понимание экономических выгод	76
Потенциальные барьеры	Высокие начальные инвестиции	72
	Неготовность ИТ-инфраструктуры	64
	Недостаток квалифицированных кадров	60
	Сопротивление изменениям	56
	Риски кибербезопасности	52

Таблица 6
Профили готовности горнодобывающих предприятий к внедрению предиктивного обслуживания по результатам кластерного анализа

Table 6
Profiles of readiness of mining enterprises to implement predictive maintenance based on the results of the cluster analysis

Кластер	Доля выборки, %	Ключевые характеристики
«Лидеры»	32	Высокий уровень технологической и организационной зрелости Опыт успешных пилотных проектов Готовность к масштабированию решений
«Последователи»	44	Начальные этапы цифровой трансформации Фрагментарное внедрение отдельных решений Индустрии 4.0 Необходимость разработки плана внедрения
«Новички»	24	Низкий уровень цифровой зрелости Отсутствие опыта применения технологий Индустрии 4.0 Необходимость проведения технологического аудита

Кластерный анализ методом k-средних (k-means) на основе оценок важности факторов успеха и барьеров, данных экспертами, позволил выделить три группы предприятий с различными профилями готовности к внедрению предиктивного обслуживания:

1. «Лидеры» (32% выборки) – предприятия с высоким уровнем технологической и организационной зрелости, имеющие опыт успешных пилотных проектов и готовые к масштабированию решений. Для них ключевыми приоритетами являются развитие компетенций персонала и интеграция систем предиктивного обслуживания с существующими процессами управления производством.
2. «Последователи» (44% выборки) – предприятия, находящиеся на начальных этапах цифровой трансформации, с фрагментарным внедрением отдельных решений Индустрии 4.0. Для успешного перехода к предиктивному обслуживанию им необходимо сфокусироваться на формировании бизнес-кейса, разработке поэтапного плана внедрения и модернизации ИТ-инфраструктуры.
3. «Новички» (24% выборки) – предприятия с низким уровнем цифровой зрелости, не имеющие опыта применения технологий Индустрии 4.0 в управлении активами. Им рекомендуется начать с проведения технологического аудита, определения приоритетных пилотных проектов и развития базовых компетенций в области анализа данных.

Экспертный опрос специалистов по техническому обслуживанию и ремонтам горнодобывающих предприятий позволил выявить ключевые факторы успеха и потенциальные барьеры при внедрении систем предиктивного обслуживания на основе технологий Индустрии 4.0.

Обсуждение

Интеграция результатов статистического анализа, экономико-математического моделирования и экспертного опроса позволяет сформулировать ряд ключевых выводов относительно эффективности внедрения систем предиктивного обслуживания горнодобывающего оборудования на основе технологий Индустрии 4.0:

1. Технологии Индустрии 4.0 являются ключевым драйвером перехода к предиктивному обслуживанию в горнодобывающей отрасли. За период 2013–2023 гг. уровень их внедрения значительно вырос, при этом лидерами являются Австралия и Канада (средний уровень 4,3 и 4,1 балла из 5 соответственно). Однако существенные различия между странами и корреляция уровня внедрения с размером компаний указывают на неравномерность цифровой трансформации в отрасли.
2. Внедрение систем предиктивного обслуживания на основе технологий Индустрии 4.0 оказывает значимое положительное влияние на ключевые показатели эффективности эксплуатации горнодобывающего оборудования. В среднем по выборке коэффициент технической готовности вырос на 11 п.п., средняя наработка на отказ – на 88%, удельные затраты на ТОиР снизились на 50%. Выявленная динамика свидетельствует о значительном потенциале повышения производительности активов и сокращения затрат на обслуживание при переходе к предиктивной модели.
3. Инвестиции в системы предиктивного обслуживания горнодобывающего оборудования на основе технологий Индустрии 4.0 характеризуются высокой экономической эффективностью. Средний NPV от внедрения таких систем составляет 28,4 млн долл. на предприятие, IRR – 39%, срок окупаемости – 3,8 года. При этом отдача от инвестиций растет с повышением уровня зрелости внедряемых решений. Анализ чувствительности подтверждает устойчивость полученных оценок к изменениям внешних параметров.
4. Модели машинного обучения демонстрируют высокую точность в прогнозировании отказов горнодобывающего оборудования. Наилучшие результаты показывают ансамблевые алгоритмы (Random Forest, XGBoost) со средней точностью 92%, полной 88% и F1-мерой 90%. Использование прогнозных моделей для оптимизации стратегий обслуживания позволяет дополнительно снизить удельные затраты на ТОиР на 12–18%, что подтверждает ценность предиктивной аналитики для принятия решений в управлении активами.
5. Успешное внедрение систем предиктивного обслуживания в горнодобывающей отрасли требует комплексного подхода, учитывающего не только технологические, но и организационные факторы. Наибольшее значение имеют поддержка высшего руководства, наличие четкой стратегии и плана внедрения, кросс-функциональное взаимодействие, развитие компетенций персонала и обеспечение кибербезопасности. При этом предприятия существенно различаются по уровню готовности к внедрению предиктивного обслуживания, что необходимо учитывать при разработке индивидуальных дорожных карт цифровой трансформации.

Полученные результаты вносят вклад в развитие теоретических представлений о влиянии технологий Индустрии 4.0 на эффективность управления активами в горнодобывающей промышленности. Они расширяют эмпирическую базу исследований в данной области, подтверждают результаты ряда более ранних работ о положительном эффекте предиктивного обслуживания и выявляют новые закономерности, связанные с динамикой и факторами внедрения этих технологий на отраслевом уровне.

Практическая значимость исследования заключается в разработке научно обоснованных рекомендаций по внедрению систем предиктивного обслуживания на горнодобывающих предприятиях, учитывающих лучшие практики и актуальные вызовы цифровой трансформации. Количественные оценки эффективности таких систем, полученные на представительной выборке предприятий, могут служить ориентиром при принятии инвестиционных решений и разработке стратегий развития.

В то же время необходимо отметить ряд ограничений проведенного исследования, которые задают направления для дальнейшей работы. Во-первых, анализ охватывает только крупнейшие горнодобывающие предприятия из ограниченного числа стран и не учитывает особенности малых и средних компаний. Во-вторых, в фокусе находится предиктивное обслуживание оборудования, в то время как полноценная стратегия управления активами требует интеграции с другими процессами на протяжении всего жизненного цикла. В-третьих, количественный анализ может быть дополнен качественными кейс-стади для более глубокого понимания механизмов влияния технологий Индустрии 4.0 на результаты деятельности предприятий.

Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением географического и отраслевого охвата анализа, изучением синергетических эффектов от внедрения комплекса технологий Индустрии 4.0, разработкой динамических моделей оценки эффективности инвестиций в цифровую трансформацию. Актуальной задачей является также создание единых стандартов и методологий оценки уровня зрелости предиктивного обслуживания, которые позволят проводить бенчмаркинг и обмениваться лучшими практиками между предприятиями горнодобывающей отрасли.

Заключение

Проведенное исследование подтверждает высокую эффективность внедрения систем предиктивного обслуживания горнодобывающего оборудования на основе технологий Индустрии 4.0. Анализ данных по крупнейшим предприятиям отрасли из ведущих стран-производителей за период 2013–2023 гг. показал значительный рост уровня внедрения этих технологий, сопровождающийся улучшением ключевых показателей эффективности эксплуатации активов – коэффициента технической готовности, средней наработки на отказ и удельных затрат на ТОиР. Экономико-математическое моделирование продемонстрировало высокую отдачу инвестиций в системы предиктивного обслуживания, которая растет по мере повышения зрелости внедряемых решений. Апробация моделей машинного обучения для прогнозирования отказов и оптимизации стратегий обслуживания на реальных данных подтвердила их точность и практическую

ценность. При этом экспертный опрос выявил ключевые факторы успеха и барьеры при внедрении предиктивного обслуживания, а также неоднородность профилей готовности предприятий к этому переходу.

Полученные результаты вносят вклад в развитие научных представлений о влиянии цифровой трансформации на эффективность управления активами в горнодобывающей отрасли и создают основу для дальнейших количественных исследований в данной области. Разработанные модели и подходы к анализу могут использоваться для оценки эффективности инвестиций в предиктивное обслуживание и обоснования стратегических решений. Практические рекомендации, учитывающие специфику горнодобывающих предприятий и их текущий уровень готовности к внедрению технологий Индустрии 4.0, будут полезны руководителям и специалистам, отвеча-

ющим за цифровую трансформацию процессов управления активами.

Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением эмпирической базы, изучением синергетических эффектов от комплексного внедрения технологий Индустрии 4.0, разработкой динамических моделей оценки эффективности инвестиций и отраслевых стандартов оценки зрелости предиктивного обслуживания. Реализация этих направлений позволит получить более полное представление о механизмах и последствиях цифровой трансформации в горнодобывающей промышленности и будет способствовать повышению эффективности и устойчивости развития отрасли в долгосрочной перспективе.

Список литературы / References

1. Carvalho T.P., Soares F.A.A.M.T., Vita R., da Francisco R.P., Basto J.P., Alcalá S.G. A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance. *Computers & Industrial Engineering*. 2019;137:106024. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106024>
2. Çınar Z.M., Abdussalam Nuhu, A., Zeeshan Q., Korhan O., Asmael M., Safaei B. Machine learning in predictive maintenance towards sustainable smart manufacturing: A review. *Sustainability*. 2020;12(19):8211. <https://doi.org/10.3390/su12198211>
3. Bousdekis A., Magoutas B., Apostolou D., Mentzas G. A proactive decision making framework for condition-based maintenance. *Industrial Management & Data Systems*. 2015;115(7):1225–1250. <https://doi.org/10.1108/IMDS-03-2015-0071>
4. Chitra S., Paramasivan B. Applications of machine learning techniques for predictive maintenance in mining industry – A review. *Resources Policy*. 2022;77:102681. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102681>
5. Khadse V., Mahalle P.N., Biraris S.V. An empirical comparison of supervised machine learning algorithms for internet of things data. In: *2020 4th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), Madurai, India, 13–15 May 2020*. IEEE; 2020, pp. 477–482. <https://doi.org/10.1109/ICICCS48265.2020.9120955>
6. Sahal R., Alsamhi S.H., Breslin J.G., Brown K.N., Ali M.I. Digital twins collaboration for automatic erratic operational data detection in Industry 4.0. *Applied Sciences*. 2021;11(7):3186. <https://doi.org/10.3390/app11073186>
7. Krokoszinski P. Methodology for the improvement of machine classification based on predictive maintenance data using deep neural network mapping with multi-attribute data points. *Energies*. 2022;15(14):4883. <https://doi.org/10.3390/en15144883>
8. Rødseth H., Schjølberg P., Marhaug A. Deep digital maintenance. *Advances in Manufacturing*. 2017;5:299–310. <https://doi.org/10.1007/s40436-017-0202-9>
9. Bousdekis A., Papageorgiou N., Magoutas B., Apostolou D., Mentzas G. A real-time architecture for proactive decision making in manufacturing enterprises. In: Ciuciu I., et al. (eds) *Confederated International Workshops: OTM Academy, OTM Industry Case Studies Program, EI2N, FBM, INBAST, ISDE, META4eS, and MSC 2015, Rhodes, Greece, October 26–30, 2015*. Proceedings. Springer, Cham; 2015, pp. 137–146. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26138-6_17
10. Ayvaz S., Alpay K. Predictive maintenance system for production lines in manufacturing: A machine learning approach using IoT data in real-time. *Expert Systems with Applications*. 2021;173:114598. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114598>
11. Borgi T., Hidri A., Neef B., Naceur M.S. Data analytics for predictive maintenance of industrial robots. In: *2017 International Conference on Advanced Systems and Electric Technologies (IC_ASET), Hammamet, Tunisia, 14–17 January 2017*. IEEE. 2017, pp. 412–417. <https://doi.org/10.1109/ASET.2017.7983729>
12. Lee W.J., Wu H., Yun H., Kim H., Jun M.B.G., Sutherland J.W. Predictive maintenance of machine tool systems using artificial intelligence techniques applied to machine condition data. *Procedia CIRP*. 2019;80:506–511. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.019>
13. Панфилова О.Р., Великанов В.С., Усов И.Г., Мацко Е.Ю., Кутлубаев И.М. Расчет ресурса деталей структурно-функциональных элементов горных машин. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2018;(2):43–51. <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20180206>
Panfilova O.P., Velikanov V.S., Usov I.G., Matsko E.Y., Kutlubaev I.M. Calculation of life of functional parts in the structure of mining machines. *Journal of Mining Science*. 2018;54(2):218–225. <https://doi.org/10.1134/S1062739118023570>

14. Великанов В.С., Панфилова О.Р., Усов И.Г. Анализ показателей долговечности рукояти карьерного экскаватора. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2018;16(4):13–20. Режим доступа: <http://www.vestnik.magtu.ru/arkhiv-nomerov/73-arkhiv-nomerov/4-2018/951-13.html> (дата обращения: 26.05.2024).
Velikanov V.S., Panfilova O.R., Usov I.G. Analysis of the dipper handle durability indicators. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2018;16(4):13–20. (In Russ.) Available at: <http://www.vestnik.magtu.ru/arkhiv-nomerov/73-arkhiv-nomerov/4-2018/951-13.html> (accessed: 26.05.2024).
15. Панфилова О.Р., Великанов В.С., Усов И.Г., Кутлубаев И.М. *Надежность механических систем горных и транспортных машин*. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова; 2020. 60 с.
16. Великанов В.С., Бочинская А.Н. Формирование системы минимизации рисков отказов карьерных экскаваторов при управлении. В кн.: *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 77-й Междунар. науч.-техн. конф., г. Магнитогорск, 22–26 апр. 2019 г.* Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова; 2019. С. 36.
17. Дьяконов Н.А., Логунова О.С. Системы управления технологическим процессом на основе предиктивной аналитики: проектирование. *Электротехнические системы и комплексы*. 2021;(1):58–64. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-1\(50\)-58-64](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-1(50)-58-64)
Dyakov N.A., Logunova O.S. Process control systems based on predictive analytics: Design. *Electrotechnical Systems and Complexes*. 2021;(1):58–64. (In Russ.) [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-1\(50\)-58-64](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-1(50)-58-64)
18. Тимофеев А., Волков М., Могучев М., Шетинин С. Цифровое будущее горнорудного предприятия. В кн.: *BCG Review*, сентябрь 2020, pp. 9–25. Режим доступа: <https://media-publications.bcg.com/BCG-Review-September-2020.pdf> (дата обращения: 26.05.2024).

Информация об авторах

Харченко Константин Владимирович – кандидат социологических наук, доцент кафедры государственного и муниципального управления, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: KVKharchenko@fa.ru

Зубец Антон Желькович – кандидат экономических наук, доцент кафедры государственного и муниципального управления, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: AZZubets@fa.ru

Москвитина Екатерина Ильинична – кандидат экономических наук, доцент кафедры государственного и муниципального управления, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: EIMoskvitina@fa.ru

Бабаян Левон Каренович – ассистент кафедры государственного и муниципального управления, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: LKBabayan@fa.ru

Лаффах Адам Майерович – ассистент кафедры государственного и муниципального управления, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: AMLaffakh@fa.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 23.05.2024

Поступила после рецензирования: 04.07.2024

Принята к публикации: 11.07.2024

Information about the authors

Konstantin V. Kharchenko – Cand. Sci. (Sociol.), Associate Professor of the Department of State and Municipal Administration, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; e-mail: KVKharchenko@fa.ru

Anton Zh. Zubets – Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor of the Department of State and Municipal Administration, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; e-mail: AZZubets@fa.ru

Ekaterina I. Moskvitina – Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor of the Department of State and Municipal Administration, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; e-mail: EIMoskvitina@fa.ru

Levon K. Babayan – Assistant of the Department of State and Municipal Administration, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; e-mail: LKBabayan@fa.ru

Adam M. Laffah – Assistant of the Department of State and Municipal Administration, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; e-mail: AMLaffakh@fa.ru

Article info

Received: 23.05.2024

Revised: 04.07.2024

Accepted: 11.07.2024



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-прессы.

Производственная программа TEFSA включает в себя:

- фильтр-прессы с верхним подвесом плит
- фильтр-прессы с боковым подвесом плит
- ленточные фильтр-прессы
- фильтры под давлением: листовые и свечные
- вакуумные фильтры: ленточные и барабанные
- автоматические установки приготовления полиэлектролитов
- сгустители шлама



Компания «Астериас» является поставщиком фильтров TEFSA® и производителем фильтро-элементов 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+




Официальный представитель TEFSA® в РФ и Казахстане – ООО «Астериас»
 454048, Челябинская область,
 Г.О. Челябинский, ВН. р-н Советский,
 г. Челябинск, ул. Сулимова, д.92 А,
 помещение 51
 тел.: +7 (351) 211 44 86, 211 50 86, 211 44 75
 e-mail: info@asterias.su
 www.tefsa.su • www.asterias.su



Исследование температуры и выделения газов в очагах эндогенных пожаров на породных отвалах

В.А. Портола¹, С.И. Протасов², Е.А. Серегин²✉

¹ Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Российская Федерация

² Новационная фирма «КУЗБАСС-НИИОГР», г. Кемерово, Российская Федерация

✉ eugene_s1976@mail.ru

Резюме: Потери угля, допускаемые в процессе его добычи, и создание условий, способствующих притоку воздуха к окисляющимся горючим компонентам, могут приводить к развитию процесса самовозгорания и возникновению эндогенных пожаров в скоплениях угля и углесодержащих пород в местах ведения добычных работ и на породных отвалах. Наиболее опасны эндогенные пожары в шахтах из-за возможности отравления людей токсичными продуктами окисления углерода, выделяющимися в рудничную атмосферу. Очаги самовозгорания могут инициировать взрывы скоплений горючих газов, угольной пыли. В связи с опасностью эндогенных пожаров для угольных предприятий проводятся широкие исследования процесса самовозгорания угля. В статье приведены результаты замера температуры и концентрации выделяющихся газов в очаге самовозгорания, возникшего в углесодержащих породах отвала. Температуру измеряли в скважинах, пробуренных на глубину 2,5 м. Расстояние между скважинами 10 м. При температуре окружающего воздуха 0 °С, верхний слой породы над очагом самовозгорания прогрет от +5 до +14 °С, что позволяет использовать тепловизоры для выявления очагов самовозгорания. Исследования показали неравномерность прогрева пород, что можно объяснить различным содержанием угля в отвале и различным притоком воздуха к горючим компонентам. Выявлен разный характер увеличения или наоборот уменьшения температуры пород отвала до глубины 2,5 м, поэтому рекомендуемая в настоящее время методика обнаружения и контроля эндогенной пожароопасности породных отвалов не позволяет определить реальные размеры очага. В части скважин обнаружены сероводород и диоксид серы, что подтверждает участие серы в процессе самовозгорания отвалов. Оксид углерода обнаружен практически во всех скважинах, однако не выявлена прямая зависимость между температурой пород и концентрацией оксида углерода.

Ключевые слова: породный отвал, углесодержащие породы, эндогенный пожар, очаги самовозгорания, температура, выделение газов, обнаружение самовозгорания, контактный термометр, скважина

Для цитирования: Портола В.А., Протасов С.И., Серегин Е.А. Исследование температуры и выделения газов в очагах эндогенных пожаров на породных отвалах. *Горная промышленность*. 2024;(4):140–145. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-140-145>

Investigation of temperature and gas release in spontaneous fires at rock dumps

V.A. Portola¹, S.I. Protasov², E.A. Seregin²✉

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation

² KUZBASS NIIOGR Innovation Company, Kemerovo, Russian Federation

✉ eugene_s1976@mail.ru

Abstract: Losses of coal, allowed in the mining process, as well as the creation of conditions that promote the flow of air to the oxidizable combustible components, can result in self-ignition and spontaneous fires in coal and carbon-containing rock accumulations in places of mining operations and at the rock dumps. Spontaneous fires in underground mines are the most dangerous because people can be poisoned by toxic carbon oxidation products released into the mine air. Self-ignition foci can initiate explosions of the accumulated combustible gases and coal dust. Taking into account the danger of spontaneous fires for coal mines, extensive research on the process of coal self-ignition is underway. The article presents the results of measuring the temperature and concentration of emitted gases in a self-ignition focus, which developed inside the coal-bearing rocks at a dump. The temperature was measured in boreholes drilled to the depth of 2.5 meters. The boreholes were spaced 10 m apart. At the ambient air temperature of 0 °C, the upper layer of the rocks above the self-ignition focus is heated from +5 to +14 °C, which allows using thermal imaging cameras to detect the self-ignition foci. The studies showed a non-uniform heating of rocks, which can be explained by the different content of coal in the dump and different air inflow to the combustible components. Various patterns of increasing or vice versa decreasing temperature of the dump rocks up to the depth of 2.5 m were revealed, so the currently recommended methodology for detection and control the hazards of spontaneous fire at the rock dumps does not allow to determine the real dimensions of the focus. Hydrogen sulfide and sulfur dioxide were detected in some of the boreholes, which confirms that sulfur is involved in the process of waste dumps self-ignition. Carbon oxide was detected in almost all the boreholes, but no direct correlation between the rock temperature and the carbon oxide concentration has been detected.

Keywords: rock dump, coal-bearing rocks, spontaneous fire, self-ignition foci, temperature, gas emission, detection of self-ignition, contact thermometer, borehole

For citation: Portola V.A., Protasov S.I., Seregin E.A. Investigation of temperature and gas release in spontaneous fires at rock dumps. *Russian Mining Industry*. 2024;(4):140–145. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-140-145>

Введение

Потери угля, допускаемые в процессе его добычи, и создание условий, способствующих притоку воздуха к окисляющимся горючим компонентам, могут приводить к развитию процесса самовозгорания и возникновению эндогенных пожаров в скоплениях угля и углесодержащих пород в местах ведения добычных работ и на породных отвалах. Наиболее опасны эндогенные пожары в шахтах из-за возможности отравления людей токсичными продуктами окисления углерода, выделяющимися в рудничную атмосферу. Очаги самовозгорания также могут инициировать взрывы скоплений горючих газов, угольной пыли. В связи с опасностью эндогенных пожаров в угольных шахтах ведется постоянный контроль за признаками процессов самовозгорания угля, а также реализуются мероприятия по предотвращению эндогенных пожаров [1].

На угольных карьерах также существует опасность отравления людей токсичными газами, образующимися при окислении угля и его термическом разложении в случае возникновения очагов самовозгорания. Экономический ущерб угледобывающих предприятий от эндогенных пожаров обусловлен в основном потерями угля, снижением его качества, падением темпов угледобычи, затратами на тушение возникших пожаров и профилактические работы по предотвращению самовозгорания. Необходимо учитывать и загрязнение окружающей среды образующимися газами, продуктами распада угля, поступающими в почву, водоемы, подземные воды [2]. Особенно часто эндогенные пожары возникают в породных отвалах разрезов из-за большого содержания угля, серы.

В связи с опасностью эндогенных пожаров для угольных предприятий проводятся широкие исследования процесса самовозгорания угля. Влияние ветра на развитие процесса самовозгорания в скоплениях угля рассмотрено в [3; 4]. Проведена оценка диапазона скоростей фильтрации воздуха, необходимых для формирования очага самовозгорания в разрыхленном угле [5]. Возможность нагрева угля до определенной температуры только под действием молекулярной диффузии кислорода из окружающего воздуха показали исследования в работе [6]. Влияние различных свойств угля на появление очагов самовозгорания, а также обменных процессов с внешней средой рассмотрено в работах [7–9]. Особенно склонны к самовозгоранию скопления угольной пыли [10], что можно объяснить увеличением площади поверхности, контактирующей с воздухом, при снижении размера частиц угля.

Существуют различные способы обнаружения очагов самовозгорания угля и оценки их состояния. Один из наиболее распространенных способов обнаружения процессов самовозгорания в шахтах основан на измерении концентрации выделяющихся при окислении угля газов [11]. Наиболее информативными являются оксид углерода, водород, предельные и непредельные углеводороды. По соотношению концентраций некоторых индикаторных газов можно оценить и температуру очага самовоз-

горания [12]. Однако для угольных карьеров наибольшее распространение получило измерение температуры скоплений угля и углесодержащих пород. Так, по действующим нормативным документам¹ температурные съемки с целью обнаружения и контроля состояния действующих очагов эндогенных пожаров на породных отвалах должны проводиться:

- на действующих негорящих отвалах – 3 раза в год (май, июль и сентябрь);
- на действующих горящих отвалах – 2 раза в год (май и сентябрь);
- на недействующих горящих отвалах – 1 раз в год (сентябрь).

Замер температуры горных пород должен осуществляться на глубине 0,5, 1,5 и 2,5 м от поверхности отвала через каждые 20 м, включая откосы отвала.

Для оценки эффективности регламентированного метода контроля очага самовозгорания на ряде разрезов Кузбасса были выбраны несколько участков породных отвалов размером 20х40 м с очагами эндогенных пожаров. В частности, на анализируемом в настоящей статье участке отвала были пробурены 15 скважин на глубину до 2,5 м. Кроме температуры пород, в скважинах замеряли концентрацию газов, образующихся при окислении горючих компонентов и термическом разложении угля.

Материалы и методы

Изучение закономерностей распределения температуры возникшего очага самовозгорания в горных породах осуществлялось на отвале разреза. Схема расположения скважин приведена на рис. 1. Скважины обсажены металлическими трубами с внутренним диаметром 125 мм. На глубинах 0,5, 1,5 и 2,5 м от поверхности отвала в стенках труб вырезаны отверстия размером 4х15 см для замера через них температуры пород на разных глубинах. В сва-

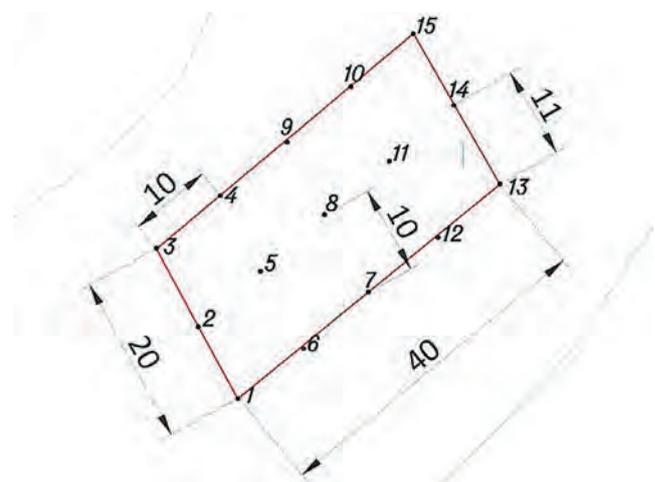


Рис. 1
Схема расположения скважин на экспериментальном участке отвала

Fig. 1
Layout of boreholes at the experimental dump site

¹ Инструкция по предупреждению экзогенной и эндогенной пожароопасности на объектах ведения горных работ угольной промышленности: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности. Сер. 05. Вып. 61. М.: ЗАО НТЦ ПБ; 2021. 60 с.

жинах также определялась концентрация газов CO, H₂S, O₂, SO₂, CH₄.

Измерение температуры отвальных пород в скважинах, а также на поверхности отвала рядом со скважиной осуществлялось следующими приборами:

- контактным термометром ТК5.06 с зондом ЗПУГ 500 длиной 0,5 м;
- тепловизором Testo 880-3 PRO;
- лазерным пирометром CEM DT-9860S.

Определение состава газов в скважинах производилось переносным газоанализатором DragerX-am 5000, позволяющим измерять концентрацию метана CH₄, оксида углерода CO, диоксида серы SO₂, сероводорода H₂S и кислорода O₂. Газоанализатор дополнительно оборудован металлическим зондом длиной 0,7 м и воздухонагнетательной грушей для забора проб воздуха из скважины.

Результаты

Проведенные замеры температуры пород в отвале позволили обнаружить прогрев всего исследуемого участка. Так, температура верхнего слоя пород около пробуренных скважин колебалась в пределах от +5 до +14 °С, образуя температурную аномалию по сравнению с температурой атмосферного воздуха, которая равнялась 0 °С в период измерений. На глубине 0,5 м температура пород отвала резко увеличилась и находилась в пределах от +35 до +433 °С. Такой температурный градиент возникает из-за теплоизоляционных свойств пород и охлаждающего действия атмосферного воздуха. Наибольшая температура пород отмечена в скважинах 7 и 10 (рис. 2). Максимальная температура на этой глубине (+433 °С) находится в скважине 10. В остальных скважинах температура пород не превышает +150 °С.

Неравномерность прогрева пород может быть обусловлена изменением содержания угля в породах, а также условиями формирования потоков воздуха в породном отвале, поставляющих кислород к горючим компонентам в отвале, выделяющим тепло в результате реакций окисления. Направление потоков фильтрующегося воздуха в породном отвале зависит от тепловой депрессии, развиваемой очагом, а также особенностей рельефа поверхности, способствующих возникновению избыточного давления воздуха под действием ветрового напора.

На рис. 3 показано изменение температуры горных пород в скважинах на глубине 1,5 м.

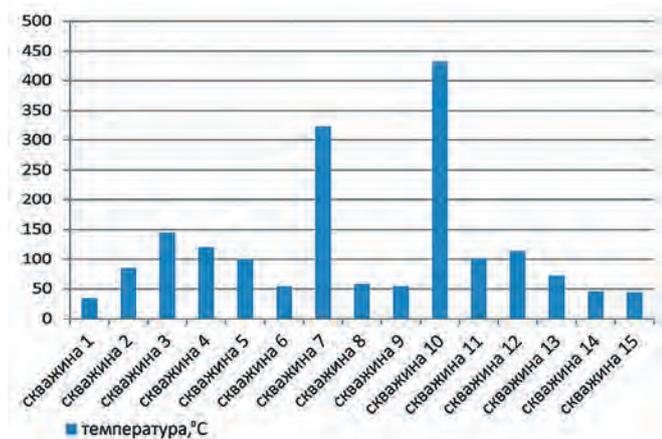


Рис. 2
Изменение температуры пород в скважинах на глубине 0,5 м

Fig. 2
Variation of rock temperature in the boreholes at the depth of 0.5 m

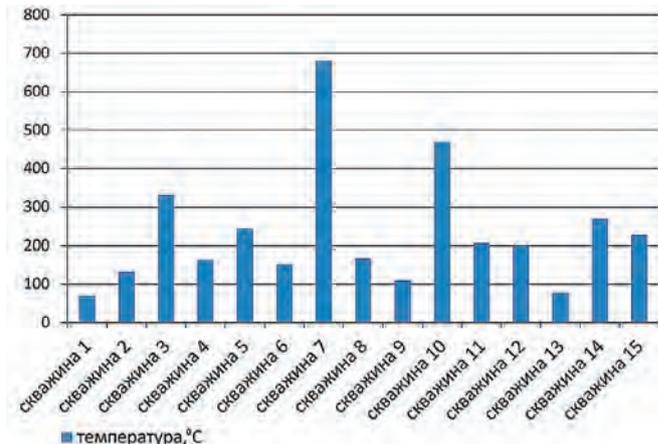


Рис. 3
Температура пород в скважинах на глубине 1,5 м

Fig. 3
Rock temperature in the boreholes at the depth of 1.5 m

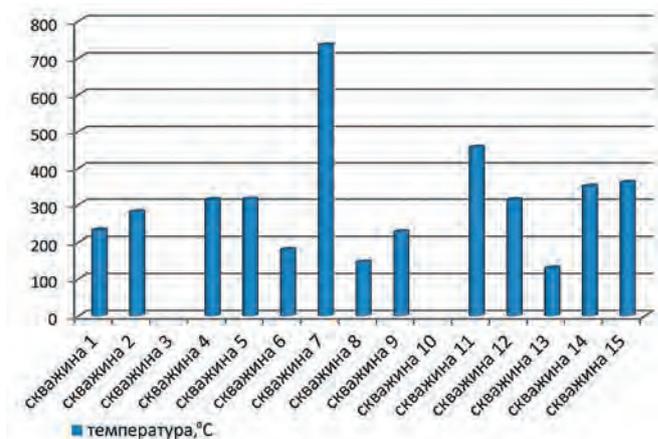


Рис. 4
Температура пород в скважинах на глубине 2,5 м

Fig. 4
Rock temperature in the boreholes at the depth of 2.5 m

Анализ результатов, приведенных на рис. 3, показывает, что температура пород на этой глубине увеличилась и колеблется в пределах от +70 до +681 °С. Максимальный прогрев пород на глубине 1,5 м (+681 °С) зафиксирован в скважине 7, температура в которой возросла более чем на 300 °С. Существенно повысилась температура в скважинах 3 и 14 (около 200 °С). Незначительно увеличилась температура в скважине 10.

Распределение температуры в скважинах на глубине 2,5 м приведено на рис. 4. На заданной глубине не удалось измерить температуру в скважинах 3 и 10.

На глубине 2,5 м средняя температура пород в скважинах еще возросла. Так, в наиболее нагретой скважине 7 температура превысила +700 °С. О высокой температуре пород можно было судить по свечению обсадной трубы скважины. Из-за низкого содержания метана (около 1,6%) в скважине отсутствовало пламя и происходило тление углесодержащих пород.

Изменение температуры по глубине скважин приведено на рис. 5, 6 и 7. На рис. 5 показаны скважины 1–5, на рис. 6 – скважины 6–10 и на рис. 7 – скважины 11–15.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что очаг самовозгорания на данном участке породного отвала существует длительное время, и зона горения опустилась на значительную глубину породного отвала. Только скважина 8 имеет максимальную температуру на

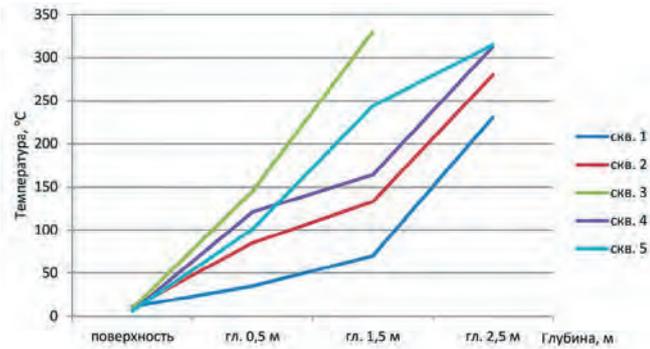


Рис. 5
Изменение температуры по глубине скважин 1–5

Fig. 5
Variation of temperature by depth in boreholes 1-5

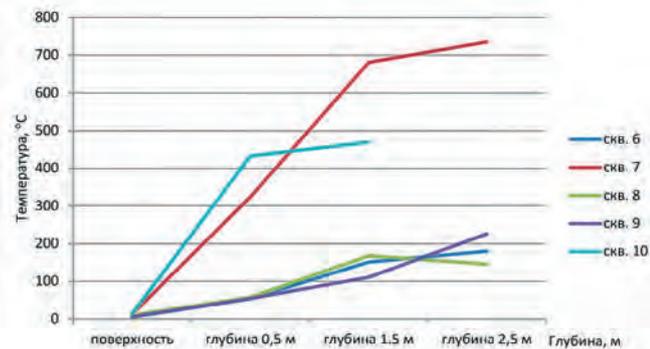


Рис. 6
Изменение температуры по глубине скважин 6–10

Fig. 6
Variation of temperature by depth in boreholes 6-10

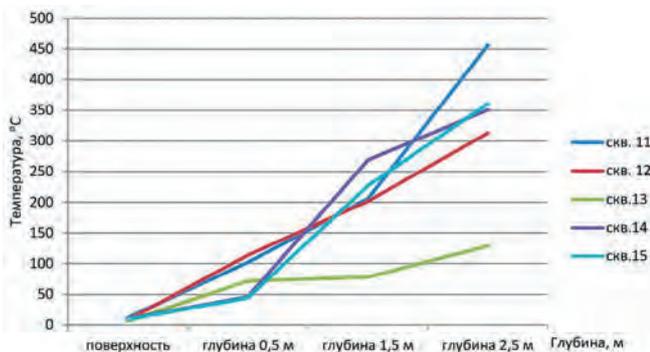


Рис. 7
Распределение температуры по глубине скважин 11–15

Fig. 7
Variation of temperature by depth in boreholes 11–15

глубине 1,5 м, а на большей глубине температура пород снижается. У всех остальных скважин наблюдается рост температуры горных пород с глубиной.

Минимальный прирост температуры наблюдался в скважине 13. Возможно, что повышение температуры пород в этой зоне происходило за счет притока тепла из соседних скважин, где температура была существенно выше. Перенос тепла осуществлялся за счет теплопроводности пород и конвективными потоками газа.

Изменение концентрации оксида углерода в скважинах, замеренной на глубине около 0,5 м, приведено на рис. 8.

Замеры показали, что наибольшие значения содержания оксида углерода зафиксированы в скважинах 6, 7 и 8. Максимальное значение (0,143%) обнаружено в скважине 7, имеющей и наибольшую температуру горных пород. В скважинах 6 и 8 температура пород значительно меньше, но выделяется большое количество оксида углерода. Сравнивая данные изменения температуры в скважинах

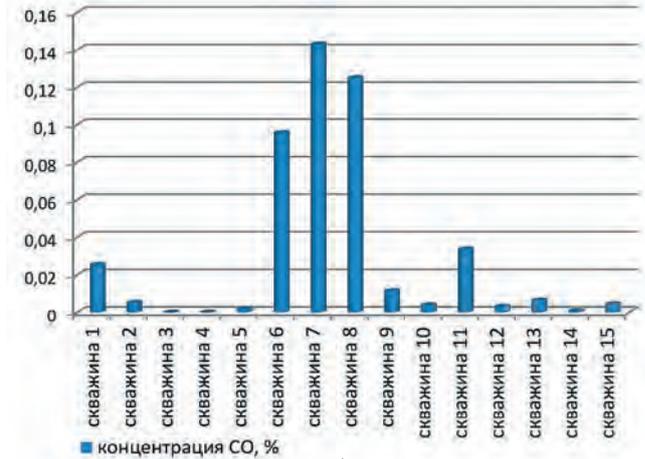


Рис. 8
Изменение концентрации оксида углерода в скважинах

Fig. 8
Variation of carbon monoxide concentration in the boreholes

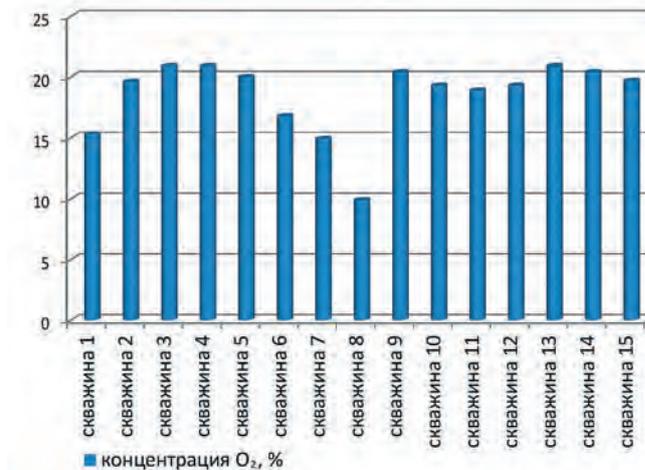


Рис. 9
Изменение концентрации кислорода в скважинах

Fig. 9
Variation of oxygen concentration in the boreholes

и концентрации оксида углерода, можно сделать вывод, что не существует прямой зависимости между температурой пород и концентрацией выделяющегося оксида углерода. Отсутствие такой закономерности может быть объяснено возможностью разнонаправленного движения воздуха в скважинах.

Концентрация кислорода в скважинах приведена на рис. 9.

Проведенные газовые измерения показали, что концентрация кислорода в скважинах имеет довольно большие значения, несмотря на большую (высокую) температуру пород (рис. 9). Минимальные концентрации кислорода наблюдаются в скважинах 1, 6, 7 и 8. В этих же скважинах отмечена повышенная концентрация оксида углерода.

Содержание сероводорода в скважинах приведено на рис. 10, а сернистого ангидрида на рис. 11.

Присутствие этих газов в скважинах свидетельствует о наличии серы в углесодержащих породах и участии этого горючего элемента в процессе самовозгорания пород. Обычно присутствие пирита FeS_2 увеличивает склонность угля к самовозгоранию и является источником серосодержащих газов. Наибольшие концентрации сероводорода и сернистого ангидрида зафиксированы в скважинах 6, 7 и 8.

На рис. 12 показано изменение концентрации метана в скважинах.

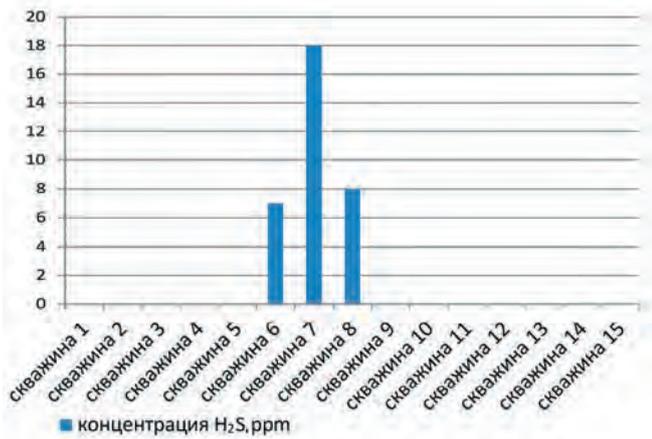


Рис. 10
Изменение концентрации сероводорода H₂S в скважинах

Fig. 10
Variation of hydrogen sulfide (H₂S) concentration in the boreholes

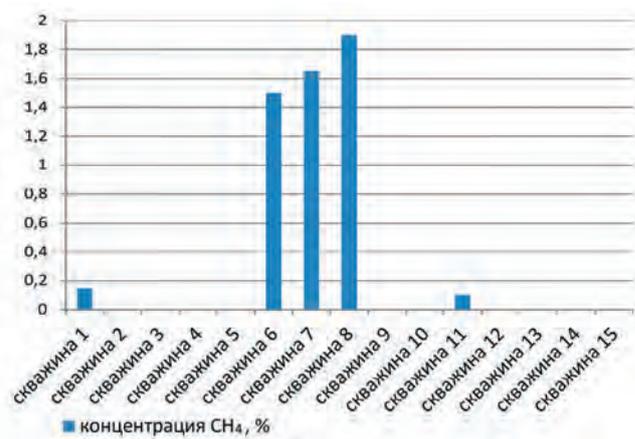


Рис. 12. Изменение концентрации метана CH₄ в скважинах

Fig. 12
Variation of methane (CH₄) concentration in the boreholes

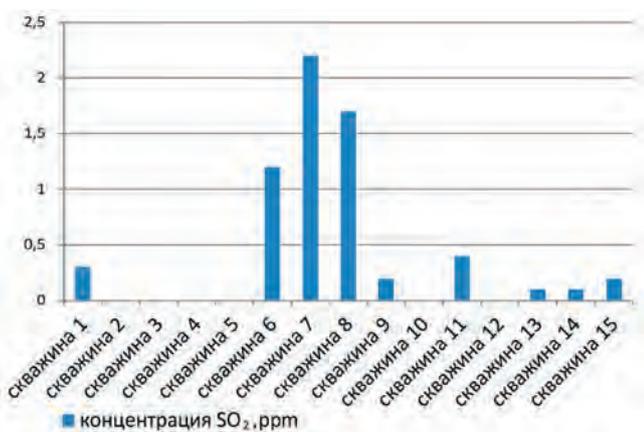


Рис. 11
Изменение концентрации сернистого ангидрида SO₂ в скважинах

Fig. 11
Variation of sulfur dioxide (SO₂) concentration in the boreholes

Из приведенных данных (рис. 12) видно, что наибольшее выделение метана, так же как сероводорода и сернистого ангидрида, происходит в скважинах 6, 7 и 8. Источником метана, видимо, является пиролиз угля. Однако содержания угля в породах недостаточно для выделения горючих газов в концентрации, способной поддерживать пламенное горение.

Заключение

Проведенные на породном отвале исследования показали, что наблюдаются существенные колебания температуры пород в скважинах, расположенных на расстоянии 10 м между собой. Так, на глубине 1,5 м температура в скважинах изменялась в пределах от +70 до +681 °С на сравнительно небольшой площади. Такие колебания температуры могут быть объяснены неравномерностью распределения угля в отвале, а также особенностью формирования потоков воздуха в породах, обеспечивающих приток кислорода к угляю.

Увеличение расстояния между контрольными скважинами до рекомендуемых Инструкцией² 20 м снижает достоверность получаемых результатов о состоянии очага самовозгорания, что скажется при выборе способа тушения пожара. При этом уменьшение расстояния между скважинами существенно увеличивает длительность и стоимость замеров, а увеличение расстояния не позволяет обнаружить очаги самовозгорания небольшого размера, характерные для начальной стадии эндогенных пожаров. Повысить разрешающую способность замера температуры пород и снизить ее стоимость позволит съемка поверхности отвалов с помощью тепловизоров [13].

Результаты исследований показали, что в 14 из 15 скважин температура пород увеличивается до глубины 2,5 м, поэтому рекомендации действующей Инструкции³ ограничиться этой глубиной не позволяют определить размеры очага самовозгорания по глубине отвала и оценить затраты, необходимые для ликвидации пожара.

Замеры состава газов показали, что концентрация оксида углерода в скважинах достигает 0,14%, что представляет опасность для людей, находящихся вблизи очага самовозгорания. Причем исследованиями установлено, что не существует четкой зависимости между температурой пород в скважине и концентрацией оксида углерода. Наличие сероводорода и диоксида серы в ряде скважин свидетельствует о присутствии серы в углеродсодержащих породах. В ходе исследований на экспериментальном участке не выявлено пропорциональной зависимости между концентрацией этих газов и температурой пород. Тем не менее контроль концентрации газов в дополнение к тепловизионной съемке поверхности площадок и откозов отвала позволяет характеризовать стадии окисления пород и их горения.

² Инструкция по предупреждению экзогенной и эндогенной пожароопасности на объектах ведения горных работ угольной промышленности: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности. Сер. 05. Вып. 61. М.: ЗАО НТЦ ПБ; 2021. 60 с.

³ Инструкция по предупреждению экзогенной и эндогенной пожароопасности на объектах ведения горных работ угольной промышленности: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности. Сер. 05. Вып. 61. М.: ЗАО НТЦ ПБ; 2021. 60 с.

Список литературы / References

1. Скочинский А.А., Огиевский В.М. *Рудничные пожары*. М.: Горное дело; Киммерийский центр; 2011. 375 с.
2. Timofeeva S.S., Lugovtsova N.Yu., Yankova P, Timofeev S S Assessing the unaccounted environmental pressure caused by endogenous fires on the rock dumps of Kuzbass Overburden Rocks. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019;224:012057. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/224/1/012057>

3. Портола В.А., Жданов А.Н., Бобровникова А.А. Анализ условий, способствующих развитию процесса самовозгорания в штабелях угля. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(6-1):187–197. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_187
Portola V.A., Zhdanov A.N., Bobrovnikova A.A. Analysis of the conditions facilitate to the development of the process of self-carrier-burning in coal stacks. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(6-1):187–197. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_187
4. Mohtaderi B., Dlugogorski B.Z., Kennedy E.M. Effects of wind flow on self-heating characteristics of coal stockpiles. *Process Safety and Environmental Protection*. 2000;78(6):445–453. <https://doi.org/10.1205/095758200530998>
5. Lin Q., Wang S., Liang Y., Song S., Ren T. Analytical prediction of coal spontaneous combustion tendency: Velocity range with high possibility of self-ignition. *Fuel Processing Technology*. 2017;159: 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.09.027>
6. Ютяев Е.П., Портола В.А., Мешков А.А., Харитонов И.Л., Жданов А.Н. Развитие процесса самонагревания в скоплениях угля под действием молекулярной диффузии кислорода. *Уголь*. 2018;(10):42–46. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-10-42-46>
Yutyaev E.P., Portola V.A., Meshkov A.A., Kharitonov I.L., Zhdanov A.N. Development of self-heating process in coal stocks under molecular diffusion of oxygen. *Ugol'*. 2018;(10):42–46. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-10-42-46>
7. Song S., Wang S., Jiang S., Liang Y., Hu P. Multifield coupled dynamic simulation of coal oxidation and self-heating in longwall coal mine gob. *Mathematical Problems in Engineering*. 2020;(1):075657. <https://doi.org/10.1155/2020/9075657>
8. Акбаров Т.Г., Исраилов М.А., Махмудов Д.Р. Изучение и предупреждение самовозгораемости углей Ангреноского месторождения. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021;(1):170–177. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2021-1-0-170-177>
Akbarov T.G., Israilov M.A., Makhmudov D.R. Analysis and prevention of spontaneous combustion of Angren coal. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;(1):170–177. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2021-1-0-170-177>
9. Докучаева А.И. Особенности газообменных процессов при нагреве в углях, склонных к самовозгоранию. *Маркшейдерия и недропользование*. 2023;(2):56–61. https://doi.org/10.56195/20793332_2023_2_66_61
Dokuchaeva A.I. Features of gas exchange processes during heating in coals prone to spontaneous combustion. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2023;(2):56–61. (In Russ.) https://doi.org/10.56195/20793332_2023_2_66_61
10. Родионов В.А., Турсенев С.А., Скрипник И.Л., Ксенофонтов Ю.Г. Результаты исследования кинетических параметров самовозгорания каменноугольной пыли. *Записки Горного института*. 2020;246:617–622. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.6.3>
Rodionov V.A., Tursenev S.A., Skripnik I.L., Ksenofontov Y.G. Results of the study of kinetic parameters of spontaneous combustion of coal dust. *Journal of Mining Institute*. 2020;246:617–622. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.6.3>
11. Liang Y., Zhang J., Wang L., Luo H., Ren T. Forecasting spontaneous combustion of coal in underground coal mines by index gases: A review. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2019;57:208–222. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.12.003>
12. Портола В.А., Бобровникова А.А., Син С.А., Игишев В.Г. Особенности выделения индикаторных пожарных газов при подаче азота в очаг самовозгорания угля. *Безопасность труда в промышленности*. 2022;(4):47–52. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2022-4-47-52>
Portola V.A., Bobrovnikova A.A., Sin S.A., Igishev V.G. Special features of the release of indicator fire gases at the nitrogen supply to the foci of coal spontaneous combustion. *Occupational Safety in Industry*. 2022;(4):47–52. (In Russ.) <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2022-4-47-52>
13. Портола В.А., Серегин Е.А., Протасов С.И., Ярош А.С., Бобровникова А.А. Контроль теплового состояния породных отвалов и объектов открытых горных работ с использованием беспилотных летательных аппаратов. Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2023;(4):84–90.
Portola V.A., Seregin E.A., Protasov S.I., Yarosh A.S., Bobrovnikova A.A. Control of the thermal condition of rock dumps and open mining facilities using unpiloted aircraft vehicles. *Bulletin of Research Center for Safety in Coal Industry (Industrial Safety)*. 2023;(4):84–90. (In Russ.)

Информация об авторах

Портола Вячеслав Алексеевич – доктор технических наук, профессор, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-7920-1248>; e-mail: portola2@yandex.ru

Протасов Сергей Иванович – кандидат технических наук, директор Новационной фирмы «КУЗБАСС-НИИОГР», г. Кемерово, Российская Федерация; e-mail: s.i.protasov@mail.ru

Серегин Евгений Алексеевич – главный инженер, Новационная фирма «КУЗБАСС-НИИОГР», г. Кемерово, Российская Федерация; e-mail: eugene_s1976@mail.ru

Information about the authors

Vyacheslav A. Portola – Dr. Sci. (Eng.), Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-7920-1248>; e-mail: portola2@yandex.ru

Sergey I. Protasov – Cand. Sci. (Eng.), Director, KUZBASS NIIOGR Innovation Company, Kemerovo, Russian Federation; e-mail: s.i.protasov@mail.ru

Evgeny A. Seregin – Chief Engineer, KUZBASS NIIOGR Innovation Company, Kemerovo, Russian Federation; e-mail: eugene_s1976@mail.ru

Article info

Received: 07.06.2024

Revised: 09.07.2024

Accepted: 16.07.2024

Информация о статье

Поступила в редакцию: 06.06.2024

Поступила после рецензирования: 04.07.2024

Принята к публикации: 15.07.2024

16+

РЕКЛАМА



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 FlotФос и POLYPAM (неионогенные, 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

Исследования газозрывоопасных объектов в верхней части разреза с применением беспилотных летательных аппаратов. Статья 1

И.В. Богоявленский✉

Институт проблем нефти и газа Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

✉ ivb@ipng.ru

Резюме: Целью исследования является изучение специфики карстовых провалов как особо опасного природного и природно-техногенного явления, образование которого нередко может быть связано с дегазацией Земли. Показано, что опасность карстообразования в верхней части разреза усиливается за счет нередкого заполнения карстовых полостей газом. Наличие газа в полостях может приводить к аномально высоким или даже сверхлитостатическим пластовым давлениям, порождающим газодинамические процессы, разрушающие породы кровли полости и приводящие к выбросам/взрывам газа. Приведены результаты аналитических исследований природной и техногенной карстовой угрозы в ряде регионов России и Туркменистана с глубиной поиска более 250 лет. На основе данных дистанционного зондирования Земли из космоса и по данным беспилотных летательных аппаратов выполнены региональные и локальные исследования карстовых проявлений в Пермской области в районах деятельности ПАО «Уралкалий» (г. Березники и Соликамск) и в Тульской области в районе с. Дедилово. При дешифрировании космоснимков в районе с. Дедилово выделено более 130 карстовых провалов, часть которых связана с газодинамическими процессами. Это свидетельствует о повышенной опасности данного района исследований. Результаты исследований карстовых провалов и пещер в России, а также в других регионах мира, полученные автором, легли в основу специального раздела постоянно развиваемой базы данных в геоинформационной системе «Арктика и мировой океан» (ГИС «АМО»). В продолжении исследования (Статья 2) будет приведено детальное описание методики и результатов исследований Дедиловского карстового провала 2019 с применением беспилотных летательных аппаратов на основе фотограмметрической обработки с построением трехмерных моделей.

Ключевые слова: Дедилово, Дедиловский провал, карст, выброс газа, беспилотные летательные аппараты, БПЛА, фотограмметрическая обработка, трехмерные модели

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Повышение эффективности и экологической безопасности освоения нефтегазовых ресурсов арктической и субарктической зон Земли в условиях меняющегося климата» (122022800264-9).

Для цитирования: Богоявленский И.В. Исследования газозрывоопасных объектов в верхней части разреза с применением беспилотных летательных аппаратов. Статья 1. *Горная промышленность*. 2024;(4):147–154. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-147-154>

Research of gas-explosive objects in the upper part of the section using unmanned aerial vehicles. Article 1.

I.V. Bogoyavlensky✉

Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

✉ ivb@ipng.ru

Abstract: The main goal of this work is to study the specifics of karst sinkholes as a particularly dangerous natural and man-made phenomenon, the formation of which can be often associated with degassing of the Earth. It is shown that the hazard of karst formation in the upper part of the section increases due to the uniform filling of karst cavities with gas. The presence of gas in cavities can lead to abnormally high or even superlithostatic reservoir pressure, creating gas-dynamic processes that destroy rocks, forming cavity roofs and leading to gas blowouts/explosions. The results of analytical studies of natural and man-made karst threats in a number of regions of Russia and Turkmenistan with a search time of more than 250 years are presented. Based on the Earth remote sensing data from space and UAV data, regional and local studies of the

karst phenomena were carried out in the Perm region in the areas of Uralkali PJSC operations (the cities of Berezniki and Solikamsk) and in the Tula region near the village of Dedilovo. When interpreting satellite images in the area of the village of Dedilovo, more than 130 karst sinkholes were identified, some of which are associated with gas-dynamic processes. This indicates the increased danger of this study area. The results of studying karst sinkholes and caves in Russia, as well as in other regions of the world, obtained by the author, formed the special section of a constantly expanding database in the Arctic and World Ocean Geoinformation System (AMO GIS). In continuation of this research, the Article 2 will provide a detailed description of the methodology and results of studying the DKP-2019 sinkhole in the vilage of Dedilovo using unmanned aerial vehicles based on photogrammetric processing with building 3D models.

Keywords: Dedilovo, Dedilovsky failure, karst, gas blowout, unmanned aerial vehicles, UAV, photogrammetric processing, three-dimensional models

Acknowledgements: The work was performed within the framework of the state assignment on the topic "Improving the efficiency and environmental safety of oil and gas resources development in the Arctic and subarctic zones of the Earth under changing climate conditions" (122022800264-9).

For citation: Bogoyavlensky I.V. Research of gas-explosive objects in the upper part of the section using unmanned aerial vehicles. Article 1. *Russian Mining Industry*. 2024;(4):147–154. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-147-154>

Введение

Многие регионы России характеризуются наличием сильного влияния различных опасных геологических явлений (процессов), несущих значительные угрозы жизнедеятельности человека. Среди них особенно выделяется процесс карстообразования, которым в различной степени поражено более 60% территории России¹. Согласно ГОСТ 22.1.06–99, карст – «геологическое явление (процесс), связанное с повышенной растворимостью горных пород (преимущественно карбонатных, сульфатных, галогенных) в условиях активной циркуляции подземных вод, выраженное процессами химического и механического преобразований пород с образованием подземных полостей, поверхностных воронок, провалов, оседаний (карстовых деформаций)»².

Наиболее часто карстообразование встречается в породах, содержащих карбонатные отложения, в том числе смешанного карбонатно-терригенного и терригенно-карбонатного типов – в общем около 78%³. Обычно завершающим этапом развития карста является обрушение свода образовавшейся подземной полости с формированием карстового провала/воронки. Среди различных карстовых форм наибольшее распространение имеют пещеры (субгоризонтальные и наклонные полости), но также встречаются вертикальные полости – колодцы (глубина до 20 м) и шахты (глубже 20 м). В стратиграфическом плане карстообразование встречается в породах от архей-протерозойского до неогенового возраста⁴.

Самой протяженной в мире признана расположенная в штате Кентукки (США) Мамонтова пещера (Mammoth Cave) в известняках миссисипского периода (нижний карбон), имеющая общую протяженность с ответвления-

ми около 682 км⁵. На территории России самой длинной признана Ботовская пещера в Иркутской области, образовавшаяся в известняках нижнего ордовика и имеющая длину ходов около 70 км [1].

Высота карстовых полостей может достигать многих десятков и даже сотен метров. В частности, глубина самого глубокого в мире провала Сяочжай Тянкен (Xiaozhai tiankeng – Небесная Яма, Китай) достигает 662 м, при этом его стены преимущественно вертикальны, а горизонтальные размеры – около 400х600 м [2]. В России такие большие провалы неизвестны. В качестве примера отметим, что при бурении скважины Благодаровская-102 (Самарская область, Волго-Уральская провинция) при забое на глубине 2340 м произошел провал бурового инструмента в полость, высота которой оказалась 41 м [3; 4].

Основной целью данной работы является изучение карстовых провалов, образование которых сопровождается мощной дегазацией Земли – выбросами, самовоспалениями и взрывами газа, несущими значительные угрозы жизнедеятельности человека. В связи с большим объемом выполненных исследований результаты разделены и публикуются в виде двух самостоятельных частей/статей. Данная статья является первой частью общего исследования.

Методы

В данной работе приведены результаты, преимущественно полученные при аналитических исследованиях различных источников доступной опубликованной и фондовой геологической информации с глубиной поиска около 250 лет. Для иллюстрации районов и конкретных объектов исследований использованы дешифрованные данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса (космоснимки). Также использованы аэрофотоснимки, полученные автором с применением беспилотного летательного аппарата (БПЛА) – дрон DJI Mavic Pro (DJI, Китай) со встроенной базовой фотокамерой (разрешение 12 Мрх) на стабилизаторе.

Во второй публикации будут приведены результаты

1 Карстовые пещеры. В кн.: Национальный атлас России. Т. 2: Природа и экология. М.: Роскартография; 2007. Режим доступа: <https://nationalatlas.ru/tom2/136-139.html> (дата обращения: 27.05.2024).

2 ГОСТ 22.1.06–99. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование опасных геологических явлений и процессов. Общие требования. М.: Госстандарт России; 1990. 16 с.

3 Карстовые пещеры. В кн.: Национальный атлас России. Т. 2: Природа и экология. М.: Роскартография; 2007. Режим доступа: <https://nationalatlas.ru/tom2/136-139.html> (дата обращения: 27.05.2024).

4 Карстовые пещеры. В кн.: Национальный атлас России. Т. 2: Природа и экология. М.: Роскартография; 2007. Режим доступа: <https://nationalatlas.ru/tom2/136-139.html> (дата обращения: 27.05.2024).

5 Exploring the World's longest known cave. Mammoth Cave National Park. National Park Service, September 7, 2022. Available at: <http://www.nps.gov/articles/000/exploring-the-worlds-longest-known-cave.htm> (accessed: 27.05.2024).

детальных исследований Дедиловского карстового провала в Тульской области, образовавшегося в мае 2019 г., с применением БПЛА и фотограмметрической обработки аэрофотоснимков.

Анализ карстопроявлений и выбросов газа в ряде регионов России

В России наиболее широко карстообразующие (карстующиеся) породы распространены в ее европейской части – около 72%⁶. В азиатской части они имеют немного меньшее распространение – около 64%, что, возможно, обусловлено ее меньшей изученностью. Многие древние города, включая Москву, Тулу, Нижний Новгород, Пермь, Березники, Соликамск, Казань и Уфу с прилегающими территориями, находятся в условиях в разной степени опасного развития карстовых явлений. В частности, по данным Института геологии УНЦ РАН город Уфа и его окрестности имеют очень сильное поражение карстообразованием преимущественно в сульфатных породах: здесь существуют «63 карстовых поля, в пределах которых плотность воронок от 10-20 до 100 на 1 км² и редко более... Воронки, увеличиваясь в размере и сливаясь друг с другом, образуют котловины и овраги эрозионно/карстового происхождения» [5, с. 208].

Карстообразование в Тульской области представляется самым опасным природным явлением, за период 1996–2008 гг. было зафиксировано 28 новых карстовых провалов, в том числе непосредственно в Туле [6]. Широкую известность получили карстовые провалы на территории АО «Конструкторское бюро приборостроения» (КБП), на которой в короткий период с 1 апреля по 11 мая 2005 г. образовались три провала под 9-этажным зданием инженерного корпуса, пришедшего в негодность и в результате этого снесенного. Здесь карстообразование было связано с известняками упинского горизонта нижнего карбона, а триггером послужила активная эксплуатация подземных вод [6].

В историческом плане большое внимание изучению карстовых пещер и провалов в различных регионах России уделяли многие выдающиеся ученые конца XVIII – начала XX веков, включая П.С. Палласа в Уфе и ее окрестностях в 1770 г. [7], а также Г. Абиха, А.А. Крубера, Ф.В. Лунсгергаузена и др. [8–13] в Тульской области, широко известной угольными, железорудными и другими месторождениями полезных ископаемых в палеозойском комплексе отложений. Отметим, что в регионах с развитой горнодобывающей промышленностью бывает сложно определить генезис наблюдаемых провалов, которые могут быть обусловлены как природными карстово-суффозионными процессами, так и техногенными из-за провалов приповерхностных пород в расположенные на небольших глубинах шахты. При этом «единственным диагностическим признаком, помогающим отличить естественные карстовые провалы от антропогенных воронкообразных форм, является приуроченность последних к шахтным штрекам» [14, с. 12].

Важно отметить, что «сильно закарстованные толщи карбонатных отложений часто являются коллекторами нефти и газа» [15, с. 178]. Особую опасность несут газона-

сыщенные карстовые полости, существование которых доказано во многих нефтегазоносных и угольных бассейнах, при этом в них нередко существуют аномально высокие пластовые давления (АВПД) или даже сверхвысокие (сверхлитостатические) давления (СВД) [16]. В подземных горных выработках угля часто происходят катастрофические выбросы и взрывы метана угольных пластов [16].

При бурении нефтегазопроисковых скважин нередко бывают провалы бурового инструмента в подземные карстовые полости с аварийным или даже катастрофическим поглощением бурового раствора [4; 5]. Отметим, что катастрофическими провалами бурового инструмента завершились его попадания в карстовые полости в центральной части Туркменистана в пустыне Каракумы, в том числе в загазованную полость на первой поисковой площади Дарваза Зиagli-Дарвазинской группы месторождений в терригенных отложениях нижнего-верхнего мела (до турона). При этом основной карстообразующей толщей является «неоген-четвертичный карбонатно-глинистый комплекс, сложенный известняками, мергелями и песчаниками миоцена» [17, с. 559, 563]. Из образовавшегося карстового провала «Дарваза», на дно которого упала буровая вышка и другое оборудование, более 60 лет выделяется и горит газ [16].

В Пермском крае в районах разработки Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей в г. Березники и Соликамск ОАО «Уралкалий» и ОАО «Сильвинит» (с 2011 г. – ПАО «Уралкалий») неоднократно происходили провалы и проседания грунта, при этом некоторые из провалов сопровождалось ощутимыми землетрясениями, выбросами, самовоспламенениями и взрывами газа. Первый зафиксированный провал, получивший народное название «Дальний родственник», произошел в ночь с 23 на 24 июля 1986 г. над одной из горных подземных выработок на глубине около 400 м Березниковского калийного производственного рудоуправления №3 (БКПРУ-3) [18, с. 134–138]. Провал образовался в лесном массиве в 500 м северо-западнее солеотвала БКПРУ-3 и сопровождался взрывом газа, мощными световыми вспышками и разбросом кусков породы на сотни метров [18; 19]. При этом первоначальные размеры провала составляли до 50x80 м, а глубина – 160 м. В дальнейшем его размеры по данным ДЗЗ из космоса достигли 100x210 м.

5 января 1995 г. на Соликамском руднике №2 (СКРУ-2) ОАО «Сильвинит» произошло подземное обрушение пород с выбросом и самовоспламенением около 1 млн м³ газа, которому сопутствовали землетрясение магнитудой 3,8 и проседание поверхности земли до 4,5 м [19]. Образовавшийся провал расположен в лесном массиве южнее г. Соликамск около садового товарищества «Ключики». 18 ноября 2014 г. на его территории образовался новый провал, получивший название «Скрудж». Его первоначальные размеры были 20x30 м (через несколько дней – 40x60 м), а глубина – около 45 м. По данным ДЗЗ в 2019 г. размеры провала достигли 150x180 м. Еще один небольшой провал размером 25x32 м был обнаружен 2 мая 2018 г. всего в 56 м к СЗ от «Скруджа». В 2019 г. его размеры достигли 65x75 м.

28 июля 2007 г. в г. Березники образовался гигантский провал «Большой брат» на территории шахтного поля БКПРУ-1 ОАО «Уралкалий». На следующий день из карстового провала произошел мощный выброс, самовоспламенение и взрыв газа с высоким содержанием сероводорода, вызвавший землетрясение [19; 20]. В настоящее время

6 Карстовые пещеры. В кн.: Национальный атлас России. Т. 2: Природа и экология. М.: Роскартография; 2007. Режим доступа: <https://nationalatlas.ru/tom2/136-139.html> (дата обращения: 27.05.2024).

7 Там же.

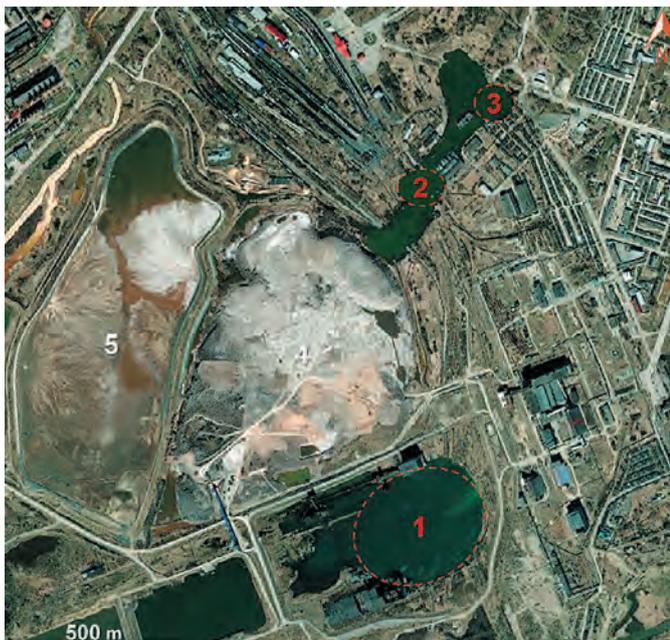


Рис. 1
Космоснимок района катастрофического поражения карстовыми провалами в г. Березники (база данных ESRI). Обозначения:
1 – провал «Большой брат» на БПКРУ-1;
2 – провал «Малыш» на железнодорожной станции Березники;
3 – провал «Кроха» около шахтостроительного управления;
4 – солеотвал;
5 – шламохранилище

Fig. 1
A satellite image of the area of a disastrous karst sinkhole in the city of Berezniki (ESRI database). Legend:
1 – The Big Brother sinkhole at the Berezniki Potash Production Mining Department-1,
2 – the Malysh sinkhole at the Berezniki railway station,
3 – the Krokha sinkhole near the mine construction department;
4 – salt dump;
5 – sludge storage facility

подземные выработки БПКРУ-1 затоплены стихийным притоком воды, объем которой превысил 80 млн м³, максимальная глубина провала составила 83 м, а его первоначальные размеры – 55x80 м [19]. По данным ДЗЗ из космоса размеры его контура на поверхности земли в 2020 г. достигли 340x440 м, а по зеркалу воды с учетом проседания поверхности земли – 340x620 м. Имеется информация, что максимальная глубина воды в провале составляет около 110 м. Кроме того, в процессе затопления БПКРУ-1 в 900 и 1200 м к северу от провала «Большой брат» образовывались новые техногенные провалы «Малыш» (2010 г.), разрушивший железнодорожные пути, и «Кроха» под автодорожным полотном в районе круговой развязки (2011 г.) (рис. 1). Кроме того, многие дома в г. Березники оказались повреждены просадочными явлениями.

В Тульской области, богатой залежами угля, представляют несомненные угрозы не только провалы, но и неоднократно происходившие мощные выбросы, самовоспламенения и взрывы газа. Согласно новостному сообщению в газете «Тульские губернские ведомости»⁸ вблизи с. Мясоедово (15 км южнее Тульского кремля), видимо, произошел выброс и взрыв газа: «... при совершенно ясном небе, раздался и длился несколько секунд гул, подобный грому. Вскоре оказалось, что среди засеки произошел

провал земли на пространстве 400 кв. саженей... Ныне провал наполнился водой желтого цвета, но до поверхности не более 15 саженей. Края ямы продолжают еще обваливаться вместе с деревьями» [14, с. 6]. Из приведенной выше информации следует, что первоначальный диаметр провала составлял около 48 м, а его глубина однозначно превышала 32 м (примечание: сажень – 2,1336 м).

В 1901 г. один из основоположников русского карстоведения А.А. Крубер описал провал у деревни Крутой (в 10 км к юго-востоку от Тульского кремля), образовавшийся в XIX в. в результате мощного выброса газа, возможно с самовоспламенением и взрывом: «Восточный провал образовался на памяти местных крестьян в конце 60-х или в начале 70-х годов, причем по рассказам свидетеля во время образования провала глыбы глины большой величины выбрасывались на значительное расстояние от провала» [10, с. 24].

Большую известность приобрел карстовый провал, произошедший в 1881 г. в 29 км к юго-востоку от Тульского кремля в с. Дедилово (далее ДКП-1881). Согласно новостной публикации в Горном журнале 1881 г.⁹ ДКП-1881 образовался 21 мая в 3 часа утра и «поразил паническим страхом окрестных жителей. На огородах Дергелевой слободы, в расстоянии не более 106 метров от ближайших жилых домов, образовалась огромная цилиндрическая яма, с почти вертикальными берегами, глубиною 21,33 м и диаметром верхнего основания 10,66 м. Откосы ямы продолжали постепенно обваливаться до 12 часов дня и в настоящее время провал представляет вид опрокинутого конуса, глубиною 13,01 м и с эллиптическим основанием, коего большой диаметр 26,78 м и малый 23,68 м...». По описанию А.А. Крубера [10, с. 29] во время этого события «страшный гром и гул от разрушившейся массы обломков был слышен далеко в окрестности... Предвестником провала, по словам местных жителей, был огненный столб, поднявшийся накануне вечером над этим местом; столб этот был виден даже за 5 верст от места происшествия; кроме того, был слышен, хотя и слабый, подземный гул, а за несколько дней до самого провала образовалась глубокая дыра, явившаяся, очевидно, результатом постепенных подземных обвалов свода пещеры...» (примечание: 5 верст – 5334 м).

В 2014–2023 гг. в Арктике было обнаружено более 20 гигантских кратеров, образовавшихся в результате выбросов газа из термокарстовых полостей, сформировавшихся в массивах подземного льда, исследованиями которых стали активно заниматься сотрудники ИПНГ РАН, включая автора данной статьи [21–23]. Во всех четырех случаях, когда вблизи этих объектов находились очевидцы из коренного населения, были зафиксированы самовоспламенения и взрывы газа.

Приведенный выше краткий обзор карстовых провалов показал, что их образование достаточно часто сопровождается выбросами и взрывами газа, что делает эти явления еще более опасными для жизнедеятельности человека. В связи с этим изучение подобных опасных событий в различных регионах, включая многочисленные карстовые провалы в Тульской области, представляется весьма актуальным.

Основной целью данной работы является изучение карстового провала, образовавшегося в с. Дедилово Тульской области 8 мая 2019 г. (далее ДКП-2019). Кроме того, в свя-

⁸ 2014. 19 мая. Режим доступа: https://ti71.ru/news/society/19_maya_den_v_istorii19/ (дата обращения: 16.06.2024).

⁹ Провал земли в Тульской губернии. В: Горный журнал. Санкт-Петербург, Изд. Горного ученого комитета, 1881, т. 3, С. 229.

зи с относительно легкой доступностью было решено его использовать как опытный полигон отработки оптимальных технологических подходов для изучения и мониторинга развития подобных опасных объектов в Арктике, а также в других удаленных и труднодоступных регионах. При этом в качестве основных технических средств полевых исследований использованы беспилотные летательные аппараты (БПЛА) типа дрон. Предварительные результаты исследований объекта ДКП-2019 были доложены на международных конференциях, в том числе в РГГРУ (МГРИ) имени С. Орджоникидзе [24–27].

Рекогносцировочные исследования в районе карстопроявлений около с. Дедилово Тульской области

Тульская область является старым горнодобывающим регионом с активным освоением ресурсов многих полезных ископаемых, включая бурый уголь южной части Подмосковного угольного бассейна, торф, железные руды, известняки, соль, гипс и др. [28; 29]. Месторождения угля были открыты в отложениях нижнего карбона в 1772 г., а добыча угля началась более 170 лет назад (в 1853 г.). В 1958 г. в Тульской области был достигнут пиковый объем добычи угля – 43,5 млн т, при этом действовало 119 шахт [28; 29]. Из-за низкой калорийности и низкой рентабельности объемы добычи угля снижались в 1990 г. до 12,3 млн т, а в 2005 г. – до 0,6 млн т. В 2009 г. добыча в последней в центральной России шахте «Подмосковная» была остановлена, после чего ее затопили. Всего антропогенному воздействию было подвергнуто около 3,1 тыс. км² (12,1%) территории Тульской области.

Из-за сильного техногенного воздействия, а также в связи с широким развитием природных карстовых явлений в Тульской области широко распространены экзогенные геологические процессы, среди которых особо выделим провалы и проседания природного генезиса, а также карстоподобные провалы (псевдокарсты), связанные с шахтными выработками. По данным космоснимков в Тульской области, включая район с. Дедилово (рис. 2), видны терриконы выработанной породы (хвостохранилища), многочисленные карстовые проседания и провалы поверхности земли, местами формирующие на космоснимке прямолинейные или криволинейные цепочки. Генезис провалов может быть обусловлен как природными карстово-суффозионными процессами, так и техногенными из-за провалов приповерхностных пород в расположенные на небольших глубинах шахты. Как уже отмечалось выше, в ряде случаев подземные природные или техногенные полости заполнялись газом, сгенерированным в отложениях Подмосковного угольного бассейна, что приводило к взрывным газодинамическим процессам.

Рекогносцировочные исследования в районе с. Дедилово проведены на основе комплексного анализа доступных данных ДЗЗ из космоса и опубликованных картографических материалов. На рис. 2 приведен космоснимок WorldView-2 (база данных ESRI) района с. Дедилово, при дешифрировании которого выделено 20 потенциальных карстовых провалов, в том числе ДКП-2019.

Необходимо отметить, что с. Дедилово расположено в одном километре к северу от г. Киреевска, вокруг которого расположен ряд бездействующих в настоящее время угольных шахт с терриконами отработанных пород, при этом ликвидация шахт надлежащим порядком не выполнена [30]. В 3,5 км к северо-востоку от с. Дедилово располо-

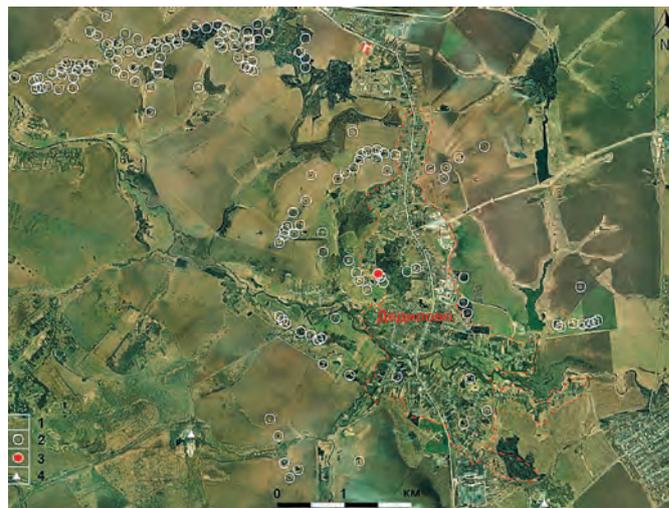


Рис. 2
Карстообразование в районе с. Дедилово Тульской области (космоснимок WorldView-2 базы данных ESRI).

Обозначения:
1 – контуры с. Дедилово;
2 и 3 – карстовые проявления, включая ДКП-2019 (3);
4 – угольные шахты с терриконами отработанных пород

Fig. 2
Karst formation in the vicinity of the Dedilovo village, the Tula region (WorldView-2 satellite image from the ESRI database).

Legend:
1 – boundaries of the Dedilovo village; 2 and 3 – karst manifestations, including DKP-2019 (3);
4 – coal mines with waste rock piles

жен Киреевский солепромысел (шахта Комсомольская), на котором соляной раствор добывается из девонских отложений (380 млн лет) методом выщелачивания, в результате чего образуются крупные техногенные полости в отложениях соли, также несущие угрозы провалов и взрывов газа. Кроме того, начиная с середины XVII в. в Дедилово добывалась железная руда [30].

Таким образом, с. Дедилово находится в районе активной добычи угля шахтным способом, в результате чего сформировалась широкая сеть подземных выработок, являющихся источниками образования провалов, в том числе с выбросом и взрывом метана угольных пластов.

Целевой объект исследований – провал ДКП-2019 – образовался 8 мая 2019 г. в западной части с. Дедилово на придомовом участке на улице Сурельникова всего в 16 м восточнее жилой постройки с подведенным магистральным газом, что несет дополнительные угрозы. Центр провала ДКП-2019 имеет координаты 53,9847° N, 37,9209° E. На рис. 3 приведены рекогносцировочные фотографии ДКП-2019, сделанные в разных ракурсах из БПЛА с высоты полета 150 м (А) и 50 м (В). Аэрофотосъемка проводилась с применением БПЛА DJI Mavic Pro. Работы на объекте ДКП-2019 были согласованы с местной администрацией, а также владельцем участка.

По состоянию на 18 мая 2019 г. размеры ДКП-2019 по поверхности земли были 26х21 м, а глубина – около 15 м (рис. 3, В) [24–27; 30]. Размеры ДКП-2019 существенно отличаются от первоначальных размеров упомянувшегося выше ДКП-1881: в среднем в 2,2 раза больше в диаметре, но в 1,4 раза меньше в глубину. В обнажении пород ДКП-2019 выделяются породы (см. рис. 3, В), подобные описанным для ДКП-1881 [10]: в самом верху – слой чернозема, ниже – глинисто-песчаные отложения,



Рис. 3
Аэрофотоснимки с БПЛА
18 мая 2019 г. карстового провала в с. Дедилово (1) в панорамном ракурсе (А) и с близкого расстояния (В). Обозначения: прямые белые пунктирные линии соединяют пять карстовых провалов (1, 2, 3 и 2, 4 и 5)



Fig. 3
UAV aerial photos of the karst sinkhole in the Dedilovo village (1) on May 18, 2019, in panoramic view (A) and at close range (B).
Legend: straight white dashed lines connect the five karst sinkholes (1, 2, 3 and 2, 4 and 5)

прослой бурого железняка, песчаники и, видимо, прослой известняка.

На основе дешифрирования рекогносцировочного аэрофотоснимка с БПЛА (рис. 3, А) установлено, что образовавшийся провал ДКП-2019 находится вблизи перекрестья двух линий, на которых расположено по три округлых карстоподобных провала поверхности земли: 1, 2, 3 и 2, 4, 5. На расстоянии всего 10 м к юго-востоку от контура ДКП-2019, в центре перекрестья линий расположено частично заросшее кустарником и деревьями округлое углубление диаметром около 30 м (см. рис. 3, А – 2), которое идентифицируется автором как старый карстовый провал. Также отметим, что эти два (1 и 2) соседствующих провала расположены практически на одной линии с третьим провалом. К северо-востоку от провала 2 в 375 и 540 м расположены провалы 4 и 5, имеющие размеры 50x50 м и 26x37 м. Кроме того, еще один (шестой) провал размером 20x26 м обнаружен в продолжении линии 5–4–2 к юго-западу на расстоянии около 270 м от провалов 1 и 2 за пределами аэрофотоснимка.

Заключение

На основе анализа ряда доступных источников информации показано, что карстообразование представляет собой широко распространенное опасное природное и природно-техногенное геологическое явление образования карстовых полостей в комплексах карстующихся пород разного литологического состава в широком диапазоне глубин. Опасность этого явления усиливается за счет нередкого заполнения полостей газом с сверхвысоким

давлением, порождающим газодинамические (включая газовзрывные) процессы, разрушающие породы кровли полости, и приводящие к выбросу обломков пород на расстояния в несколько сотен метров, разлет которых несет дополнительные угрозы жизнедеятельности человека.

Часто карстовые провалы образуются группами, при этом группы провалов могут формировать прямолинейные или искривленные цепочки. Природный или техногенный генезис провалов может быть установлен только при сравнении их положений с картами расположения подземных горных выработок.

Результаты исследований карстовых провалов и пещер в России, а также в других регионах мира, полученные автором, легли в основу специального раздела в постоянно развиваемой базы данных в геоинформационной системе «Арктика и мировой океан» (ГИС «АМО»), созданной более 15 лет назад и постоянно развиваемой в ИПНГ РАН [16; 21; 22].

В продолжении данного исследования (вторая статья) будет приведено детальное описание методики и результатов исследований провала ДКП-2019 с применением БПЛА на основе фотограмметрической обработки с построением трехмерных моделей. По итогам этих работ сделаны выводы о скорости роста карстового провала ДКП-2019 и дан анализ возможных угроз жилым постройкам.

Продолжение проведенных исследований (Статья 2) читайте в следующем номере журнала.

Список литературы / References

1. Филиппов А.Г. Пещера Ботовская. В кн.: Шелепин А.Л. (ред.) *Атлас пещер России*. М.: РГО; 2019. С. 623–635.
2. Waltham T. The 2005 Tiankeng Investigation Project in China. *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers*. 2006;4(1): 1–6. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/26448086> (accessed: 17.05.2024).

3. Максимович Г.А., Быков В.Н. Пещеристые полости и их роль в строении коллекторов нефти и газа. В кн.: *Пещеры*. Пермь: ПГУ; 1972. Вып. 12-13. С. 146–155. Режим доступа: <http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-v1213.pdf> (дата обращения: 17.05.2024).
4. Авдоница Л.И., Дахнов В.Н. Роль методов промысловой геофизики при изучении закарстованных зон в разрезах скважин. В кн.: *Труды Московский институт нефтехимической и газовой промышленности*. М.: Недра; 1966. Вып. 56.
5. Абдрахманов Р.Ф., Мартин В.И., Попов В.Г., Рождественский А.П., Смирнов А.И., Травкин А.И. *Карст Башкортостана*. Уфа: Институт геологии УНЦ РАН; 2002. 385 с.
6. Чекулаев В.В., Курбаниязова И.И. Краткий обзор современного карстообразования на территории Тульской области. В кн.: *Кадастр недвижимости и мониторинг природных ресурсов: сб. науч. тр. 5-й Междунар. науч.-техн. интернет-конференции*. Тула: ТулГУ; 2020. С. 348–354. Режим доступа: <http://kadastr.org/conf/2019/pub/geolog/kratkii-obzor-sovremennogo-karstoobrazovaniya-na-t.htm> (дата обращения: 16.06.2024).
7. Паллас П.С. Путешествие по разным местам Российского государства. СПб.: Императорская академия наук; 1786. Ч. 2, кн. 1. 476 с.
8. Abich H. Ueber einen in der Nähe von Tula stattgefundenen Erdfall. (mit einer Karte). *Melanges physiques et chimiques tires du Bulletin Physico-Mathématique de L'Académie Impériale Des Sciences de St. Peterbourg. Tome II*. St. Petersburg, Imprimerie de l'Académie des Sciences, 1855, pp. 252–279.
9. Абиц Г. *Кратерообразные впадины в южной части Тульской губернии*. В кн.: Ежегодник по минералогии, геогнозии, геологии и палеонтологии. Гейдельбергский университет; 1855. С. 581–582.
10. Круббер А.А. *О карстовых явлениях в России*. М.: Тип. Мамонтова; 1901. 34 с.
11. Лунгерсгаузен Ф.В. О провалах на юге Тульской губернии. В кн.: *Естествознание и география*. 1911. Кн. 3. С. 25–33.
12. Лунгерсгаузен Ф.В. О провалах на юге Тульской губернии. В кн.: *Естествознание и география*. 1911. Кн. 4. С. 30–43.
13. Рождественский Н. В. Фалдинские и Тихвинские провалы. В кн.: *Известия Тульского общества любителей Естествознания*. Тула; 1912. Вып. 1. С. 51–71.
14. Федотов С.В., Федотов В.И. Карстовые и псевдокарстовые ландшафты в верховьях рек Оки и Дона на Среднерусской возвышенности. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География, геоэкология*. 2018;(1):5–18. Режим доступа: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/geograph/2018/01/2018-01-01.pdf> (дата обращения: 17.05.2024).
Fedotov S.V., Fedotov V.I. Karst and pseudo-karst landscapes in the headwaters of the Oka and Don rivers on the Central Russian upland. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*. 2018;(1):5–18. (In Russ.) Available at: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/geograph/2018/01/2018-01-01.pdf> (accessed: 17.05.2024).
15. Чикишев А.Г. *Карст Русской равнины*. М.: Наука; 1978. 194 с. Режим доступа: http://www.rgo-speleo.ru/books/chikishev-karst_rus_ravniny.pdf (дата обращения: 17.05.2024).
16. Богоявленский В.И. Природные и техногенные угрозы при освоении месторождений горючих ископаемых в криолитосфере Земли. *Горная промышленность*. 2020;(1):97–118. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-1-97-118>
Bogoyavlensky V.I. Natural and technogenic threats in fossil fuels production in the Earth cryolithosphere. *Russian Mining Industry*. 2020;(1):97–118. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-1-97-118>
17. Васильев В.Г. (ред.). *Газовые месторождения СССР. Справочник*. 2-е изд. М.: Недра; 1968. 688 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/10690> (дата обращения: 17.05.2024).
18. Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. *Карст и пещеры Пермской области*. Пермь: Изд-во Пермского ун-та; 1992. 200 с. Режим доступа: http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0129.pdf (дата обращения: 17.05.2024).
19. Лаптев Б.В. Аварийные ситуации на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей. *Безопасность труда в промышленности*. 2009;(8):28–31. Режим доступа: <https://www.safety.ru/sites/default/files/2009-8-28-31.pdf> (дата обращения: 17.05.2024).
Laptev B.V. Emergency situations at the Verkhnekamskoye deposit of potassium-magnesium salts. *Occupational Safety in Industry*. 2009;(8):28–31. (In Russ.) Available at: <https://www.safety.ru/sites/default/files/2009-8-28-31.pdf> (accessed: 17.05.2024).
20. Malovichko D.A., Dyagilev R.A., Shulakov D.Y., Butyrin P., Glebov S.V. Seismic monitoring of large-scale karst processes in a potash mine. In: *Controlling seismic hazards and sustainable development of deep mines*. New York: Rinton Press; 2009. Vol. 2, pp. 989–1002.
21. Богоявленский В.И., Богоявленский И.В., Каргина Т.Н. Катастрофический выброс газа в 2020 г. на полуострове Ямал в Арктике. Результаты комплексного анализа данных аэрокосмического зондирования. *Арктика: экология и экономика*. 2021;11(3):362–374. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2021-3-362-374>

- Bogoyavlensky V.I., Bogoyavlensky I.V., Kargina T.N. Catastrophic gas blowout in 2020 on the Yamal Peninsula in the Arctic. Results of comprehensive analysis of aerospace RS data. *Arctic: Ecology and Economy*. 2021;11(3):362–374. (In Russ.) <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2021-3-362-374>
22. Bogoyavlensky V., Bogoyavlensky I., Nikonov R., Sizov O., Kishankov A., Kargina T. Seyakha catastrophic blowout and explosion of gas from the permafrost in the Arctic, Yamal Peninsula. *Cold Regions Science and Technology*. 2022;196:103507. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2022.103507>
23. Bogoyavlensky I.V. Digital remote sensing technologies for studying objects of powerful gas blowouts on the Yamal Peninsula using Unmanned aerial vehicles. In: *Geomodel 2021, Gelendzhik, Russia, September 6–10, 2021*. European Association of Geoscientists & Engineers; 2021. 6 p. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202157120>
24. Bogoyavlensky I.V. Perspectives of implementing remote methods for geoecological tasks with creating 3D models. In: *Third International conference on geology of the Caspian Sea and adjacent areas, Baku, Azerbaijan, October 16–18, 2019*. European Association of Geoscientists & Engineers; 2019. 5 p. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201952014>
25. Bogoyavlensky I.V. Results of changes monitoring in the Tula karst sinkhole based on remote sensing from an unmanned aerial vehicle. In: *Geomodel 2020, Gelendzhik, Russia, September 7–11, 2020*. European Association of Geoscientists & Engineers; 2020. 5 p. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202050100>
26. Богоявленский И.В. Мониторинговые исследования геологических объектов с применением беспилотных летательных аппаратов. В кн.: *Молодые – Научкам о Земле: материалы 10-й Междунар. науч. конф. молодых ученых*. М.: Изд. РГГРУ (МГРИ) имени С. Орджоникидзе; 2022. Т. 3. С. 107–111.
27. Богоявленский И.В., Гаврилов А.А. Технология виртуальной реальности при анализе данных дистанционного зондирования, полученных с беспилотного летательного аппарата. В кн.: *Новые идеи в науках о Земле: материалы 16-й Междунар. науч.-практ. конф.* М.: Изд. РГГРУ (МГРИ) имени С. Орджоникидзе; 2023. Т. 1. С. 172–175.
28. Рябов Г.Г., Сарычев В.И., Жабин А.Б. Экологическая характеристика территории Подмосковского угольного бассейна. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2014;(4):25–36.
Riybov G.G., Sarichev V.I., Gabin A.B. Environmental characteristics of Moscow coal basin territory. *Izvestiya Tulkogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2014;(4):25–36. (In Russ.)
29. Грязев М.В., Качурин Н.М., Захаров Е.И. Горнодобывающая отрасль в экономике Тульской области. Состояние и перспективы. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2015;(2):57–66.
Griyzev M.V., Kachurin N.M., Zakharov E.I. Mining branch of Tula region economy. condition and perspectives. *Izvestiya Tulkogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2015;(2):57–66. (In Russ.)
30. Каширский В.И. Провал грунта в с. Дедилово Тульской области. Сравнительный анализ катастрофических явлений. *ГеоИнфо*. 18 сентября 2019. Режим доступа: <https://geoinfo.ru/products-pdf/proval-grunta-v-sele-dedilovo-tulskoj-oblasti-sravnitelnyj-analiz-katastroficheskikh-yavlenij.pdf> (дата обращения: 17.05.2024).

Информация об авторе

Богоявленский Игорь Васильевич – научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: ivb@ipng.ru

Information about the author

Igor V. Bogoyavlensky – Research Associate, Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; e-mail: ivb@ipng.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 11.06.2024
Поступила после рецензирования: 18.07.2024
Принята к публикации: 19.07.2024

Article info

Received: 11.06.2024
Revised: 18.07.2024
Accepted: 19.07.2024

Характеристика дискретности и мозаичности блоков оруденения и безрудных блоков штокверкового золоторудного месторождения Джеруй

К.Э. Чуприн¹, В.А. Еременко², А.К. Зарлыков³, К.З. Курманалиев⁴✉

¹ Альянс Алтын, г. Бишкек, Кыргызская Республика

² Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация

³ Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, г. Бишкек, Кыргызская Республика

⁴ Геолэкспертпроект, г. Бишкек, Кыргызская Республика

✉ grfgeology@gmail.com

Резюме: Изучены дискретность и мозаичность рудных, прерывистых и некондиционных блоков оруденения штокверкового типа. Проведена эксплуатационная разведка верхней части штокверка Северо-Западный бурением разведочных скважин по сети 20×20 м (10 профилей, 66 разведочных скважин) с уступа разрабатываемого карьера 3600 м на глубину до 60–120 м с отбором керновых проб в 1 пог. м и аналитическими работами на золото, определение до 0,05 г/т (более 5200 проб). Создана каркасная модель оруденения по градации: <2,4 г/т; > 2,4 г/т; > 3 г/т; > 5 г/т. Для исследования модели дискретности, мозаичности характеристик оруденения представленные данные выделены по бортовому содержанию до 1,46 г (подземные ресурсы), и по градации 1,46–2,99 г/т; 3,0–5,99 г/т; 6,0–11,9 г/т; 12,0–23,9 г/т; 24,0–48,0 г/т и >48,0 г/т. Интервалы представленных классов содержаний выделены с включением некондиционных перерывов с содержанием менее 1,46 г/т до 2–4 м. Некондиционные интервалы более 4 м выделены как безрудные перерывы. Объем перечисленных морфологических и концентрационных образований соответственно составляет 50,2–22 и 27%. Оценка концентраций золота по выделенным морфологическим блокам позволяет оценивать и обосновывать геотехнические и геотехнологические параметры подземного рудника каркасного типа.

Ключевые слова: иерархические подсистемы блоков оруденения, дискретное оруденение, мозаичность рудных контуров, мозаичность безрудных контуров, золоторудное оруденение

Для цитирования: Чуприн К.Э., Еременко В.А., Зарлыков А.К., Курманалиев К.З. Характеристика дискретности и мозаичности блоков оруденения и безрудных блоков штокверкового золоторудного месторождения Джеруй. *Горная промышленность*. 2024;(4):155–164. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-155-164>

Discreteness and mosaic characteristics of mineralization and ore-free blocks of the Jeruy stockwork gold deposit

K.E. Chuprin¹, V.A. Eremenko², A.K. Zarlykov³, K.Z. Kurmanaliev⁴✉

¹ Altyn Alliance, Bishkek, Kyrgyz Republic

² National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

³ Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Bishkek, Kyrgyz Republic

⁴ Geolekspertproekt LLC, Bishkek, Kyrgyz Republic

✉ grfgeology@gmail.com

Abstract: Discreteness and mosaic characteristics of the ore, discontinuous and substandard blocks of a stockwork-type mineralization are studied. In-mine exploration of the upper part of the North-West Stockwork was carried out by drilling exploration boreholes using a 20×20 m grid (10 profiles, 66 exploration boreholes) from the 3600-meter bench of the developed open pit to a depth of 60–120 m with core sampling per 1 linear meter and analytical work for gold, determination up to 0.05 g/t (over 5200 samples). A wireframe model of the mineralization was created based on the following grading: <2.4 g/t; >2.4 g/t; >3 g/t; >5 g/t. In order to investigate the discrete, mosaic model of the mineralization characteristics, the presented data are segregated by cutoff grade up to 1.46 g/t (underground resources), and by grading: 1.46–2.99 g/t; 3.0–5.99 g/t; 6.0–11.9 g/t; 12.0–23.9 g/t; 24.0–48.0 g/t and >48.0 g/t. The intervals of the represented grade classes are identified with the inclusion of substandard intervals with the grades below 1.46 g/t up to 2–4 meters. The substandard intervals above 4 m are defined as the ore-free intervals. The volume of the listed morphological and concentration formations is 50.2%–22% and 27%, respectively. Assessment of gold concentrations in the selected morphological blocks allows to evaluate and justify geotechnical and geotechnological parameters of the underground mine of the frame type.

Keywords: hierarchical subsystems of mineralization blocks, discrete mineralization, mosaic character of ore contours, mosaic character of ore-free contours, gold mineralization

For citation: Chuprin K.E., Eremenko V.A., Zarlykov A.K., Kurmanaliev K.Z. Discreteness and mosaic characteristics of mineralization and ore-free blocks of the Jeruy stockwork gold deposit. *Russian Mining Industry*. 2024;(4):155–164. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-155-164>

Введение

Облично-иерархическое строение горных пород, массивов по концепции М.А. Садовского: «ключевая роль отведена линейному коэффициенту вложения геоблоков смежных иерархических уровней» [1–3]. Статистические характеристики средних расстояний между трещинами, разделяющими структурные блоки между собой, к диаметрам этих блоков определяются как нелинейный процесс оруденения. Математическое развитие и детализация определяются фрактальностью, дискретностью распределения блоков и оруденения, мозаичностью-инвариантностью рудных и безрудных блоков [4–7].

К основным характеристикам и закономерностям развития оруденения изучаемого месторождения Джеруй относятся следующие факторы-задачи исследования:

1. В зоне оруденения выделяются ядра морфологического оруденения – штокверковые зоны в пределах полей развития окварцевания с продуктивной минерализацией. Имеют размеры $L_n L$, отмечено сдвоенное морфологическое ядро- Северо-Западный штокверк, могут иметь усеченные пространственные характеристики (Апофиз, Глубинное, Западное).

2. Концентрационные ядра оруденения штокверковых зон являются зонами интенсивной трещиноватости, вероятно, с наложенным и/или переотложенным золото-кварцевым оруденением. Концентрационные ядра оруденения определяются размерами $L_n L$. Вероятно, морфологические и концентрационные ядра оруденения имеют дискретный характер развития, проявленный в масштабированной иерархии самоподобия (фрактальности). На основе этого возможна разработка инструмента прогноза локализации и размерности морфологических и концентрационных ядер оруденения на основе скейлинга.

«По вещественному составу руды месторождения Джеруй относятся к единому промышленному типу – кварц-золоторудному убого сульфидному. Количество сульфидов не превышает 1%. По геологическим данным рудные тела представлены кварцевыми жилами, прожилками в измененных вмещающих гранодиоритах. Основной рудный компонент – золото – распределен в рудном кварце в виде мельчайших вкрапленностей. Поэтому содержание металла в рудах, как правило, прямо пропорционально степени окварцевания. В центральных сильно окварцованных участках рудных тел и в кварцевых ядрах содержание золота обычно колеблется от 5 до 30 г/т, очень редко достигая 50–100 г/т. В слабо окварцованных периферийных участках рудных тел снижается до 1–5 г/т, а сами рудные тела окружены широким ореолом слабого окварцевания с содержанием золота до 1 г/т [17].

3. Установленный размер фрактальности:

$$N \sim r^{-D}$$

где r – масштаб рассмотрения; N – количество элементов;

$D = 1,4$ – исчисленный по иерархии ряда от блока месторождения – участков (штокверков) – рудных блоков-ядра оруденения: разведочных и подсчетных блоков запасов-линзы (гнезда) оруденения (по морфологии и концентрациям содержаний золота).

4. Установить морфологическую дискретность закономерно прерывистой концентрационной модели последовательно входящих в общий рудный контур иерархических ниспадающих по размерности подсистем оруденения.

5. Установить дискретность распределения золота исходя из сравнения распределения классов содержаний золота по влиянию этих классов на сумму запасов, определенных по контуру оруденения изученных на основе статистики 2146 бороздовых проб (по двум горным горизонтам шт. 8 и шт. 11) в виде закономерности: до 45% некондиционные и безрудные интервалы имеют влияние в 7,2% по золоту (или содержания золота до 1,99 г/т); 55% прерывистых контуров оруденения (по классам содержаний 2–3,99 г/т, 4–16 г/т, 16–32 г/т и >32 г/т) соответственно локализируют: 10,3, 39,6, 17,9 и 25% золота.

Методы

Компанией проведена эксплуатационная разведка верхней части штокверка Северо-Западный бурением разведочных скважин по сети 20×20 м (10 профилей, 66 разведочных скважин) с уступа разрабатываемого карьера 3600 м на глубину до 60–120 м с отбором керновых проб в 1 пог. м и аналитическими работами на золото, определение до 0,05 г/т (более 5200 проб). Создана каркасная модель оруденения по градации: <2,4 г/т; > 2,4 г/т; > 3 г/т; >5 г/т.

Для исследования модели дискретности, мозаичности характеристик оруденения представленные данные выделены по бортовому содержанию до 1,46 г/т (подземные ресурсы) и по градации 1,46–2,99 г/т; 3,0–5,99 г/т; 6,0–11,9 г/т; 12,0–23,9 г/т; 24,0–48,0 г/т и >48,0 г/т. Интервалы представленных классов содержаний выделены с включением некондиционных перерывов с содержанием менее 1,46 г/т до 2–4 м. Некондиционные интервалы более 4 м выделены как безрудные перерывы. Рудные и безрудные блоки в проекции на вертикальную плоскость по профилям, по вертикали и простиранию между профилями – морфологически изучены на развитие контуров блоков оруденения по классам содержания золота и по классу некондиционных содержаний.

Изучались и характеристики распределения золота по содержаниям внутри объединенных блоков по отдельным пробам и интервалам указанных классов содержания [8].

Исходя из наблюдений оруденение и безрудные интервалы создаются зонами развития интенсивной трещиноватости или «теневыми зонами» – с минимальной трещиноватостью и приуроченностью золото-кварцевой минерализации к зонам интенсивной трещиноватости. Границы указанных зон создаются секущими зонами

разломов, которые на проекции выделяются как параллелепипеды, поддающиеся измерению [8].

Классы содержаний и размерности блоков логарифмированы: $L_n C$ – содержание золота; $L_n L = L = \sqrt[3]{L_1 \times L_2 \times L_3}$, соответственно – простирание, мощность, по падению блоков [2].

Контуры и интенсивность оруденения и безрудных блоков изучались в среде программ AutoCad, Excel, PDF, оценка проводилась по интервальным фотографиям керна, документации керна.

Оценка размерности и содержания блока логарифмированы в связи необходимостью усреднения по причине недостоверности интервалов, контуров и содержаний в результате эксплоразведки 20×20 м, вследствие отсутствия визуальных и геологических контуров оруденения и погрешности собственной модели при выводе среднего содержания, невозможностью достоверного прогнозирования блоков и их параметров для эксплуатации.

Усредненные логарифмированные показатели позволяют определить общую агломерированную модель оруденения по блокам, параметрам, затратам и системе добычных работ, закладкам и ожидаемым результатам, рассчитать и принять по общей модели объемы, методы, системы затрат и ожидаемые результаты [4; 6].

Контуры и интенсивность оруденения и безрудных блоков изучались в среде программ AutoCad, Excel, PDF.

Цель работы – изучение наличия закономерности распределения и дискретности, инвариантной мозаичности блоков руды и безрудных интервалов для обоснования каркасной геотехнологии разработки подземных запасов. Задача – получение цифровых характеристик развития оруденения и безрудных интервалов [9; 10].

Результаты

1. Структурно-тектонические предпосылки формирования дискретной блочности штокверка месторождения Джеруй. Интерполяция структурно-тектонического строения месторождения и блоков оруденения исходит из соображений, что «в межсейсмическую стадию основные сместители (ядра) разрывных нарушений менее подвержены дилатансии и менее проницаемы по сравнению с зонами их динамического влияния, где происходит накопление флюидов и диффузия вещества. В косейсмическую стадию подавляющий объем флюидов «выжимается» из сдавливающихся трещин и устремляется в нарушенное ядро разрыва, где создаются благоприятные условия для дренирования и циркуляции растворов, а также осаждения рудного вещества. К тому же, досейсмические и косейсмические деформации в единичном разрыве влекут за собой изменения в окружающей обстановке, когда в зависимости от ориентировки в тектоническом поле напряжения часть сопровождающих трещин реагирует на напряжения практически одновременно, а другая с заметным опозданием» [11–14].

Анализ по блочности участков и концентрационных ядер оруденения был интерполирован с тождественным методом определения блочности по расстоянию между разломами. «Статистической характеристикой средних расстояний между берегами трещин, отделяющих структурные блоки между собой, к диаметрам этих блоков, является довольно устойчивое соотношение между величинами раскрытия трещин и диаметрами отделяемых ими блоков в структурной иерархии массивов горных пород» [1; 15]. Для дальнейших расчетов и прогнозирования но-

вых жильных тел, кроме приведенных ниже показателей по масштабированной размерности, предлагается использовать «геомеханический инвариант» [1]:

(греч прямо)

где δ_i – среднее «раскрытие» трещин (расстояние между их берегами); Δ_i – диаметр блоков i -го иерархического уровня, коэффициент Θ наиболее часто попадает для любого i в интервал $1/2-2$, т. е. $\Theta \in (1/2 - 2)$ [1]. Диаметр блока Δ_i для усредненных зон разуплотнения пород с формированием штокверков определяется в L_n , $L = 4,7-4,8$, логарифмированная средняя размерность блока штокверка.

По расстоянию между аномальными зонами трещиноватости (морфологическими ядрами оруденения – штокверками месторождения) определяется средний показатель L_n от 5,7–5,8 до 4,9–4,5, соответствующий линейной размерности L от 290–330 м и до 133–90 м соответственно.

На рис. 1 и 2 представлен структурный план с основными разломами горизонта +3600 м (поверхности модели эксплоразведки, поперечные сопряженные сколы, азимут падения 40–50°, угол 65–80°). Продольные разломы по результатам интерпретации контуров оруденения по скважинам разрезов (продольные) представлены на рис. 4–6, сеть которых определяется с шагом до 20–40 м, азимутом падения 130–135°, углом 65–75°. Внутриконтурные зоны трещиноватости с золотокварцевым заполнением, предрудная (или синрудная) ослабленная зона, характеризовалась несколькими системами трещин: С3, аз. пад. 210–230°, угол 40–60°; С3 аз. пад. 240–250°, 40–60°; С3 аз. пад. 260–280°, 40–60°; субширотные аз. пад. 180–200°, угол 40–60°; СВ, аз. пад. 300–310°, 60–80°.

Таким образом, основные разломы каркаса блочности ограничиваются разломами и зонами трещиноватости с падением к северо-востоку под углами 65–80° и сопря-

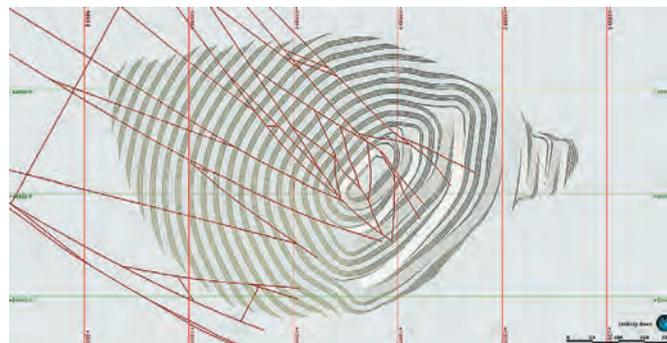


Рис. 1
Структурная модель в плане
карьера. Горизонт +3600

Fig. 1
Structural model of the open-pit in plane view, +3600 Level

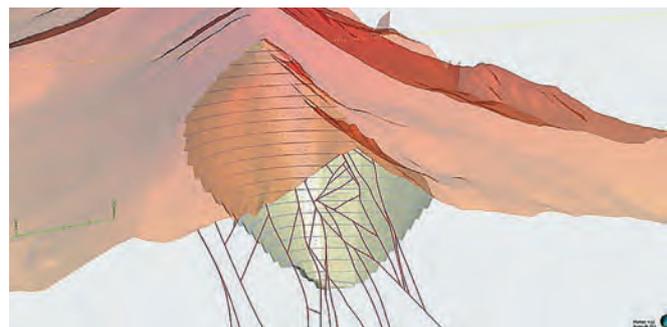


Рис. 2
Структурная модель в разрезе
карьера

Fig. 2
Structural model of the open-pit in section view

Таблица 1
Распределение и влияние в % (частость) классов содержаний золота, профили 2, 6, 9

Классы, г/т	Профиль 2		Профиль 6		Профиль 9	
	Распределение, %	Влияние, %	Распределение, %	Влияние, %	Распределение, %	Влияние, %
0,0–1,46	54,2	9,6	61,3	13,7	42,1	6,1
1,46–3,0	15,1	8,6	14,9	13,5	22,5	13,2
3,0–6,0	9,7	16,3	13,0	23,8	19,4	23,0
6,0–12,0	13,6	29,6	8,3	29,5	10,5	24,2
12,0–24,0	4,9	26,1	1,8	12,7	3,7	16,7
24,0–48,0	2,3	9,8	0,5	6,7	1,2	10,7
> 48	0,3	0,1	0,2	0,1	0,4	5,9

Table 1
Distribution and influence of gold grade classes in % (frequency), Profiles 2, 6, 9

женными разломами с падением к юго-востоку 130–135°, под углами 65–75°, внутри которых развиты кварцевые прожилки различной интенсивности от 5–10% до 30–50% (зоны сливного золотокварцевого оруденения) с ориентировкой от южного до западного падения с углами 40–60°.

2. Модель дискретных блоков оруденения эксплуатационной разведки. На рис. 3–9 и табл. 2–7 представлены три профиля из 10, характеризующих ядро оруденения и периферию оруденения по размерности и концентрациям. Распределение классов содержаний золота и влияние на оруденение приведены в табл. 1. Максимальный объем распределения приходится на некондиционный класс до 1,46 г/т, максимум влияния на концентрацию золота имеют классы от 3,0 до 24 г/т с распределением по сумме частностей (классов содержаний от 6 до 48г/т) в суммарном диапазоне от 22% до 36%, соответственно концентрирующие в сумме от 61% до 71% содержаний золота указанных классов.

Для рудных блоков изученной модели по 10 профилям и 93 блокам оруденения отмечают: непрерывное оруденение с размерностью $L_n L > 2,9–3,8$, $L_n C > 1,4–2,69$. Для дискретных блоков характерны размерность и концентрация золота: $L_n L < 2,9$ и $L_n C 0,2–1,0$, при прерывистости (коэффициент рудоносности – Круд) от 0,2 до 0,6, табл. 2–4.

В плане тело представляет эллипсоидальное вытянутое рудное тело с разделением на сердцевину – ядро оруденения с выдержанным оруденением, и периферию с прерывистым оруденением. Отмечается, что ядро оруденения,

контролирующее распределение обогащённых золотом структурных матриц, последовательно убывает от ядра к периферии, табл. 2–4. Закономерность, описанная на ряде рудных месторождений [4; 16]: «Прерывистость оруденения и связанная с ней нелинейность распределения повышенных значений концентраций золота в пространстве при неадекватности геометрических параметров природной системы прерывистости с учетом иерархичности не позволяют корректно герметизировать промышленное рудное тело» [16].

Таблица 3
Характеристики блоков по профилю 6 по прерывистости и среднему содержанию золота

Table 3
Characteristics of the blocks along Profile 6 in terms of discontinuity and the average gold grade

Профиль 6					
Блоки	Характеристика	$K_{руд}$	C , г/т	$C_{руд}$, г/т	$L_n C$
1	Непрерывный	0,94	5,49		1,70
2	Непрерывный	0,8	4,78	5,78	1,56
3	Дискретный	0,63	2,19	3,3	0,78
4	Дискретный	0,25	1,58	4,83	0,46
5	Дискретный	0,67	2,19	3,02	0,78
6	Дискретный	0,49	2,39	4,56	0,87
7	Дискретный	0,25	1,33	3,93	0,28
8	Непрерывный	0,91	2,18	2,34	0,78
9	Дискретный	0,3	1,61		0,48
10	Непрерывный	1	1,94		0,66
11	Дискретный	0,43	1,43	2,83	0,36
12	Дискретный	0,24	1,14	2,79	0,13

Таблица 2
Характеристики блоков по профилю 2 по прерывистости и среднему содержанию золота

Table 2
Characteristics of the blocks along Profile 2 in terms of discontinuity and the average gold grade

Профиль 2					
Блоки	Характеристика	$K_{руд}$	C , г/т	$C_{руд}$, г/т	$L_n C$
1	Дискретный	0,83	6,15	7,31	1,8
2	Непрерывный	1	9,32		2,2
3	Непрерывный	1	3,12		1,1
4	Непрерывный	1	12,88		2,6
5	Дискретный	0,74	1,55	1,95	0,4
6	Непрерывный	1	2,56		0,9
7	Дискретный	0,63	4,14	6,22	1,4
8	Непрерывный	1	11,92		2,5
10	Дискретный	0,33	1,11		0,1
11	Непрерывный	1	4,65		1,5

Таблица 4
Характеристики блоков по профилю 9 по прерывистости и среднему содержанию золота

Table 4
Characteristics of the blocks along Profile 9 in terms of discontinuity and the average gold grade

Профиль 9					
Блоки	Характеристика	$K_{руд}$	C , г/т	$C_{руд}$, г/т	$L_n C$
1	Непрерывный	0,94	6,69		1,90
2	Непрерывный	0,83	3,41	4,01	1,23
3	Непрерывный	1	4,14		1,42
4	Дискретный	0,27	1,37	3,44	0,31
5	Дискретный	0,53	1,32	2,05	0,28
6	Дискретный	0,7	1,85	2,1	0,61
7	Непрерывный	1	3,26		1,18
8	Дискретный	0,31	1,42	3,21	0,35

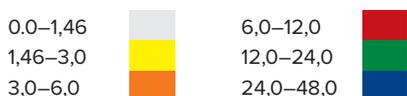
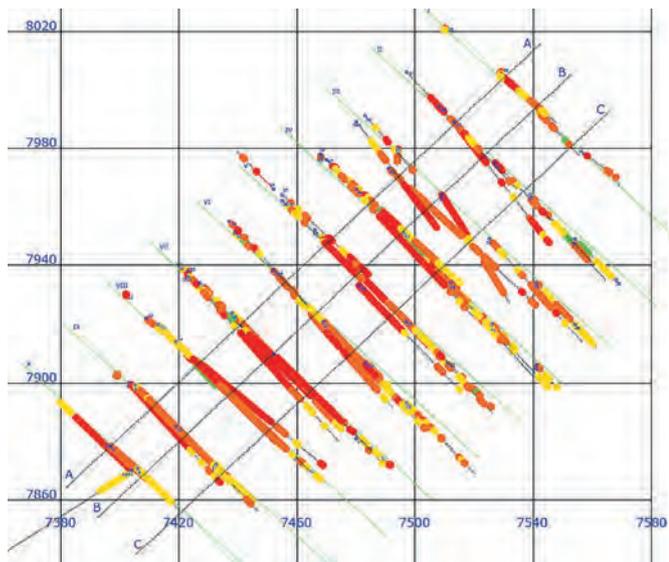


Рис. 3
План модели по результатам эксплуатационной разведки

Fig. 3
Plane view of the model based on the results of in-mine exploration

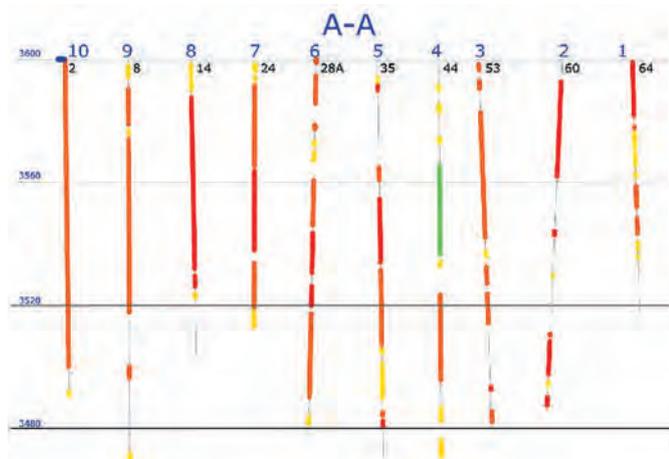


Рис. 4
Продольный разрез А-А

Fig. 4
Longitudinal section A-A

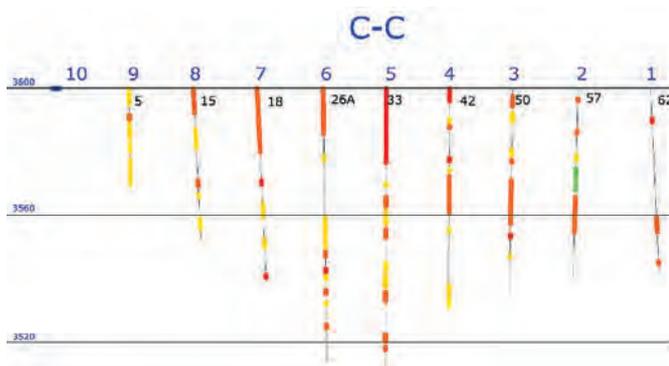


Рис. 5
Продольный разрез В-В

Fig. 5
Longitudinal section B-B

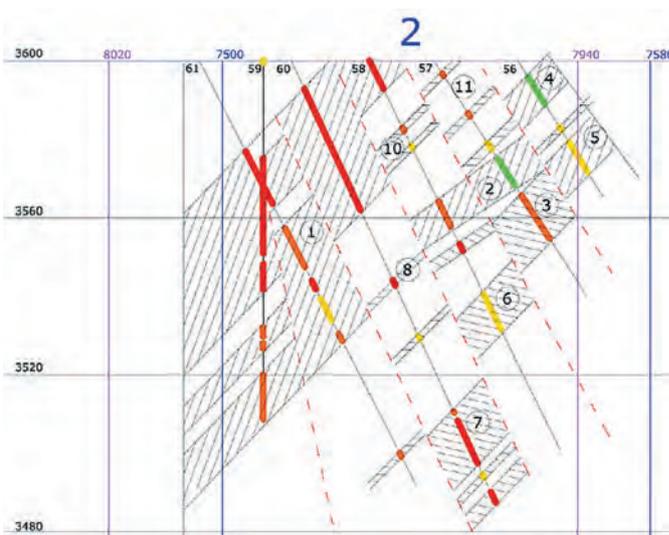


Рис. 6
Разрез профиля II модели оруденения, заштрихованные области – блоки оруденения

Fig. 6
Section of Profile II of the mineralization model, the shaded areas are mineralization blocks

Для контуров оруденения по мощности и падению, по блокам характерны, рис. 4–8, концентрация в плане и на продольных разрезах выделение ядра оруденения с непрерывным и крупным по размерности оруденением с обрамлением переходной к вмещающему горному массиву пород зоной дискретных блоков оруденения и нарастанием межблоковых некондиционных и безрудных перерывов.

Суммарная размерность блоков по профилям определяется как $L = 45,2–48,5$ м, $LnL = 3,8–3,9$.

Общая дискретность оруденения, рис. 6–8, определяется как дискретными блоками с перерывом оруденения и коэффициентом рудоносности 0,2–0,6, так и крупными межблоковыми некондиционными и безрудными перерывами. В дискретных блоках некондиционные перерывы

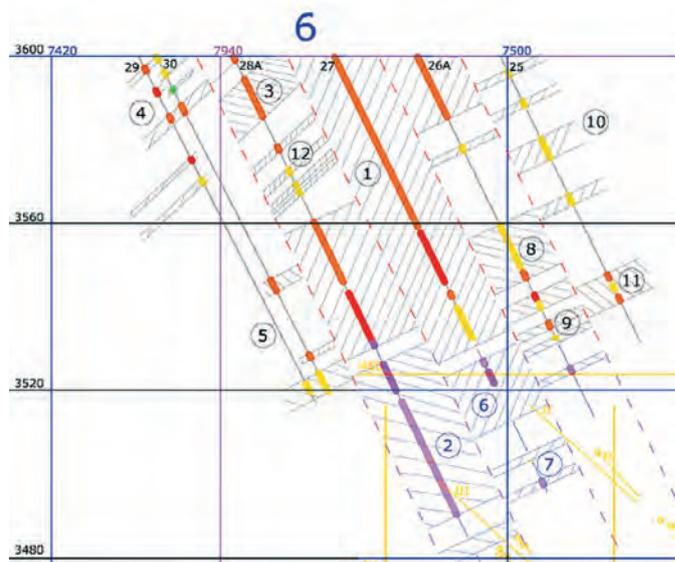


Рис. 7
арез профиля VI модели оруденения

Fig. 7
Section of Profile VI of the mineralization model

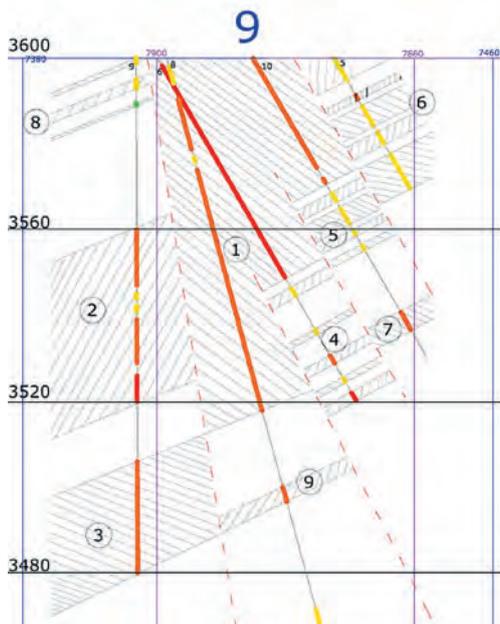


Рис. 8
Разрез профиля IX модели оруденения

Fig. 8
Section of Profile IX of the mineralization model

отмечаются в параметрах от 2–3 до 5 перерывов с размерностью по вертикали от 1–2 до 3–5 м. При этом содержание золота на блок и выделенные интервалы оруденения повышаются от 20–30 до 300%, параметры, необходимые для исчисления блоков как изолированных с оценкой возможности вовлечения в эксплуатацию по кондициям минимально-промышленных содержаний изолированных тел.

Обобщенно в контуре по 10 профилям распределение руды и золота по блокам с непрерывным и прерывистым оруденением приведено в табл. 8–11.

В целом на общий рудный контур объема приходится только 79% контуров блоков с концентрацией 93,5% золота. Вовлечение в эксплуатацию блоков с прерывистым оруденением снижает среднее содержание золота по исследовательской модели, табл. 8.

Таблица 5
Характеристики размерности блоков оруденения профиля 2

Table 5
Dimensional characteristics of mineralization blocks in Profile 2

Блоки	Характеристика	Коэффициент рудоносности, $K_{руд}$	Простираание $L1$, м	Мощность $L2$, м	Падение $L3$, м	Объем $L1*L2*L3$, м ³	Линейная размерность, L , м= $\sqrt[3]{L1*L2*L3}$	Размер, LnL
1	Дискретный	0,83	20	38,4	67	51456	37,2	3,6
2	Непрерывный	1	20	25,1	8,9	4467,8	16,5	2,8
3	Непрерывный	1	20	14,5	13	3770	15,6	2,7
4	Непрерывный	1	20	13,2	8	2112	12,8	2,6
5	Дискретный	0,74	20	13,2	13,5	3564	15,3	2,7
6	Непрерывный	1	20	14,5	10	2900	14,3	2,7
7	Дискретный	0,63	20	13,9	25,6	7116,8	19,2	3,0
8	Непрерывный	1	20	13,9	1,4	389,2	7,3	2,0
10	Дискретный	0,33	20	11,9	6	1428	11,3	2,4
11	Непрерывный	1	20	13,2	1	264	6,4	1,9
	Итого					77467,8	42,6	3,8

Таблица 6
Характеристики размерности блоков оруденения профиля 6

Table 6
Dimensional characteristics of mineralization blocks in Profile 6

Блоки	Характеристика	Коэффициент рудоносности, $K_{руд}$	Простираание $L1$, м	Мощность $L2$, м	Падение $L3$, м	Объем $L1*L2*L3$, м ³	Линейная размерность, L , м= $\sqrt[3]{L1*L2*L3}$	Размер, LnL
1	Непрерывный	0,94	20	44,3	40,9	36237,4	33,1	3,5
2	Непрерывный	0,8	20	15,2	55,5	16872	25,6	3,2
3	Дискретный	0,63	20	10,6	15,5	3286	14,9	2,7
4	Дискретный	0,25	20	16,5	13,6	4488	16,5	2,8
5	Дискретный	0,67	20	16,5	11,8	3894	15,7	2,8
6	Дискретный	0,49	20	15,2	18,2	5532,8	17,7	2,9
7	Дискретный	0,25	20	15,9	10	3180	14,7	2,7
8	Непрерывный	0,91	20	28,4	10	5680	17,8	2,9
9	Дискретный	0,3	20	13,9	17,2	4781,6	16,8	2,8
10	Непрерывный	1	20	13,9	5,5	1529	11,5	2,4
11	Дискретный	0,43	20	13,9	8,2	2279,6	13,2	2,6
12	Дискретный	0,24	20	14,5	16,4	4756	16,8	2,8
	Итого					92516,4	45,2	3,8

Таблица 7
Характеристики размерности блоков оруденения профиля 9

Table 7
Dimensional characteristics of mineralization blocks in Profile 9

Профиль 9			Простираение L1, м	Мощность L2, м	Падение L2, м	Объем L1*L2*L2, м ³	Линейная размерность - L, м $= \sqrt[3]{L1*L2*L3}$ l	Размер. LnL
Блоки	Характеристика	Коэффициент рудоносности K _{руд}						
1	Непрерывный	0,94	20	32,2	57,9	37287,6	33,4	3,5
2	Непрерывный	0,83	20	23,2	39	18096	26,3	3,3
3	Непрерывный	1	20	23,2	26	12064	22,9	3,1
4	Дискретный	0,27	20	12,9	31,3	8075,4	20,1	3,0
5	Дискретный	0,53	20	13,3	16,2	4309,2	16,3	2,8
6	Дискретный	0,7	20	15,1	30,1	9090,2	20,9	3,0
7	Непрерывный	1	20	13,3	4,5	1197	10,6	2,4
8	Дискретный	0,31	20	17,2	11,6	3990,4	15,9	2,8
Итого						94109,8	45,5	3,8

Таблица 8
Распределение руды и золота ядра и периферии оруденения

Table 8
Distribution of ore and gold in the core and marginal parts of mineralization

МПС	Блоки	Руда, т	C _{ср} , г/т	Au, кг	Распределение руды, %	Распределение золота, %
>2,29	55	2452037	5,96	14614,0	79,0	96,8
<2,29	38	651655,5	0,74	480,9	21,0	3,2
Итого	93	3103692	4,86	15094,8	100,0	100,0

Таблица 9
Размерность рудных блоков по разрезам без учета межблоковых перерывов оруденения

Table 9
Dimensions of the ore blocks by sections, without taking into account the inter-block mineralization interruptions

№ профиля	$\sum L1*L2*L3$	$\sqrt[3]{\sum l}, m$	LnL	Степенная функция от общего контура
1	56147,8	38,3	3,6	1,3
2	77467,8	42,6	3,8	1,3
3	164673,4	54,8	4,0	1,2
4	198237	58,3	4,1	1,2
5	136776,8	51,5	3,9	1,2
6	92516,4	45,2	3,8	1,2
7	151548,6	53,3	4,0	1,2
8	122824,4	49,7	3,9	1,2
9	94109,8	45,5	3,8	1,2
10	81339	43,3	3,8	1,2
Всего:	1175641	105,5	4,7	
Среднее	117564,1	48,3	3,9	1,20

Таблица 10
Внутриконтурные некондиционные блоки по разрезам

Table 10
Substandard blocks within the contour by sections

№ профиля	$\sum L1*L2*L3$	l, m	LnL	Степенная функция $\sum LnL_{модели} / L_{профиля}$	Диапазон единичных дискретных блоков		
					количество	l, m	LnL
1	23916,8	28,8	3,4	1,3	11	12,5	2,5
2	42163,6	34,8	3,5	1,2	11	11,9	2,4
3	43884	35,3	3,6	1,2	17	13,7	2,6
4	58021	38,7	3,7	1,1	29	11,9	2,5
5	49730	36,8	3,6	1,2	23	10,1	2,3
6	25194	29,3	3,4	1,2	22	10,5	2,3
7	60204	39,2	3,7	1,1	21	12,1	2,5
8	33378,2	32,2	3,5	1,2	13	12,6	2,5
9	10455	21,9	3,1	1,4	10	9,9	2,3
10							
Всего	346947	70,3	4,2				
Среднее	38549,6	33,8	3,5	1,2		11,7	2,4

Таблица 11
Междублоковые безрудные и некондиционные блоки по разрезам

№ профиля	$\sum L1*L2*L3$	$\sqrt[3]{\sum=L,м}$	LnL	Степенная функция	Диапазон единичных дискретных блоков			
					количество	м³	L, m	LnL
1	27508	30,2	3,4	1,3	3	9169,3	20,9	3,0
2	49685	36,8	3,6	1,2	12	4140,4	16,1	2,8
3	68486	40,9	3,7	1,2	10	6848,6	19,0	2,9
4	72719	41,7	3,7	1,2	17	4277,6	16,2	2,8
5	59135	39,0	3,7	1,2	12	4928,0	17,0	2,8
6	62394	39,7	3,7	1,2	13	4799,6	16,9	2,8
7	50470	37,0	3,6	1,2	13	3882,3	15,7	2,8
8	28017	30,4	3,4	1,3	7	4002,4	15,9	2,8
9	23500	28,6	3,4	1,3	6	3916,7	15,8	2,8
10								
Всего	441914	76,2	4,3		93			
Среднее	49102	36,6	3,6	1,2			17,1	2,8

Table 11
Inter-block ore-free and substandard blocks by sections

Таблица 12
Экстраполяция по степенной функции иерархических блоков

L, m	LnL	Ln+1\Ln
117,4	4,7	
41,23	3,92	1,2
25,11	3,27	1,2
15,29	2,73	1,2
9,31	2,27	1,2
5,67	1,89	1,2
3,45	1,58	1,2
2,10	1,31	1,2
1,28	1,10	1,2
0,78	0,91	1,2
0,48	0,76	1,2
0,29	0,63	1,2
0,18	0,53	1,2
0,11	0,44	1,2
0,07	0,37	1,2
0,04	0,31	1,2
0,02	0,25	1,2

Table 12
Extrapolation of hierarchical blocks by the exponential function

Таблица 13
Совокупная мозаичность по объединенным типам контуров оруденения и безрудных блоков

Мозаичные блоки	м³	L, м	LnL	%
Σ ядро оруденения	813407,8	93,3	4,5	50,3
Σ дискретное оруденение-периферии	362233,2	71,3	4,3	22,4
Σ безрудных и некондиционных	441914	76,2	4,3	27,3
Всего	1617555	117,4	4,8	100

Table 13
Cumulative mosaicity by combined types of mineralization and ore-free block contours

Экстраполяция фрактальных иерархически самоподобных блоков-подсистем при степенной функции $LnL = 1,2$ (табл. 12) от размерности блока модели оруденения, отдельных блоков с непрерывной и дискретной рудой к наименьшей (поддающейся опробованию и эксплуатации) из наблюдаемых подсистем от 117,4–41–25–9–6–3 м до 0,02 м.

Заключение и обсуждения

Обобщенная модель по размерности и распространению мозаичных блоков и нелинейных характеристик оруденения может применяться как обоснование геотехнических и геотехнологических построений для эксплуатации подземных запасов штокверкового месторождения Джеруй:

1. Ядро оруденения, представленное видимой непрерывностью оруденения, в совокупности составляет поло-

вину объема модели оруденения – 50,3%; периферийные блоки штокверка – дискретного контура минерализации – 22,4%; безрудные и некондиционные междублоковые перерывы промышленного оруденения составляют 27,3% (табл. 13).

2. Размерность блоков оценивалась по приведенному размеру простираения панелей в L в 20 м и составляет от 43,0 до 15,6, размерность $LnL =$ от 3,8 до 2,7, в среднем 3,4 м.

Ядро оруденения при видимой непрерывной минерализации по продольному размеру может достигать $L = 67$ м, размерностью до $LnL = 4,2$. Единичные блоки.

3. Размерность совокупной периферии оруденения с дискретными блоками оценивается в $L = 71,3$ м и $LnL = 4,3$. Единичные блоки варьируют размерностью L от 9,9 до 12,5 и LnL от 2,3 до 2,6, в среднем 11,7 м и $LnL = 2,4$.

4. Безрудные, некондиционные перерывы оруденения в совокупности образуют контур размерностью $L = 76,2$ и $LnL = 4,3$; при варьировании блоков размерностью от 15,1 м до 20,9 м, в среднем 17,1 м и LnL от 2,8 до 3,0, в среднем 2,8.

5. Иерархия блоков по размерности L, m LnL для модели оруденения составляет соответственно от $L = 117,4$ м и $LnL = 4,7$ до наименьшего уровня подсистемы $L = 0,02$, $LnL = 0,25$ с коэффициентами иерархии $L = 1,6$; $LnL = 1,2$.

6. Статистическое расстояние между иерархичными междублоковыми разломами и трещинными зонами $\mu\Delta(\delta) = 1,6$.

Список литературы / References

1. Курленя М.В., Опарин В.Н. Проблемы нелинейной геомеханики. Ч. II. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2000;(4):3–26.
Kurlenya M.V., Oparin V.N. Problems of nonlinear geomechanics. Part II. *Journal of Mining Science*. 2000;36(4):305–326.
<https://doi.org/10.1023/A:1026673105750>
2. Садовский М.А. Естественная кусковатость горной породы. *Доклады Академии наук СССР*. 1979;247(4):829–831.
Режим доступа: <https://www.mathnet.ru/links/bb0a8c42868dc0d5f3e68c647556f2a4/dan42895.pdf> (дата обращения: 13.05.2024).
Sadovsky M.A. Natural size of rock lumps. *Doklady Akademii nauk SSSR*. 1979;247(4):829–831. (In Russ.) Available at: <https://www.mathnet.ru/links/bb0a8c42868dc0d5f3e68c647556f2a4/dan42895.pdf> (accessed: 13.05.2024).
3. Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. *Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс*. М.: Наука; 1987. 100 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/27289> (дата обращения: 13.05.2024).
4. Павлов А.М. Мальшин Е.А., Филонук В.А. Геометризация промышленных рудных тел и определение показателей качества отработки запасов в условиях закономерно-прерывистого распределения металла на Зун-Холбинском золоторудном месторождении. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2008;(12):90–106. Режим доступа: <https://gia>
Pavlov A.M. Mal'shin E.A., Filonuk V.A. Geometrization of commercial ore bodies and determination of quality indicators of reserves development for conditions of regular intermittent metal distribution at the Zun-Kholbinsky gold deposit. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2008;(12):90–106. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2008/12/9_Pavlov.pdf (accessed: 13.05.2024).
5. Павлов А.М. Фрактальные свойства геологической среды как показатель сложности условий эксплуатации золоторудных месторождений. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2011;(6):60–66. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2011/6/Pavlov_6_2011.pdf (дата обращения: 13.05.2024).
Pavlov A.M. The fractal properties of the geological environment as the factor of the complexity of the conditions of exploitation of gold deposits. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2011;(6):60–66. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2011/6/Pavlov_6_2011.pdf (accessed: 13.05.2024).
6. Филонюк В.А., Дубовская И.А. О некоторых причинах низкой эффективности геолого-методического обеспечения современных поисково-разведочных и эксплуатационных технологий в золотодобывающей отрасли. *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений*. 2016;(3):29–43. Режим доступа: <https://repository.geologyscience.ru/bitstream/handle/123456789/11486/p38.pdf> (дата обращения: 13.05.2024).
Filonyuk V.A., Dubovskaya I.A. On some reasons of low efficiency of geological and methodological support of modern prospecting, exploration and operation technologies in gold industry. *Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits*. 2016;(3):29–43. (In Russ.) Available at: <https://repository.geologyscience.ru/bitstream/handle/123456789/11486/p38.pdf> (accessed: 13.05.2024).
7. Филонюк В.А. *Результаты фундаментальных исследований по проблеме минимизации фактора риска при освоении золоторудных месторождений*: сб. науч. тр. «Иргиредмета» в честь 125-летия. Иркутск; 1998. С. 34–50.
8. Волларович Г.П., Иванов В.Н. (ред.) *Методика разведки золоторудных месторождений*. М.: ЦНИИГРИ; 1991. 382 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/8407> (дата обращения: 13.05.2024).
9. Галченко Ю.П., Еременко В.А. *Природно-технические системы подземной разработки рудных месторождений на основе конвергентных горных технологий*. 2-е изд., доп. и перераб. М.: Горная книга; 2023. 288 с.
10. Жабко А.В. Фундаментальные проблемы практической геомеханики и возможные пути их преодоления. *Известия Уральского государственного горного университета*. 2018;(4):98–107. Режим доступа: <https://iuggu.ru/download/2018-4-52-Zhabko.pdf> (дата обращения: 13.05.2024).
Zhabko A.V. Underlying problems of practical geomechanics and possible ways to overcome them. *News of the Ural State Mining University*. 2018;(4):98–107. (In Russ.) Available at: <https://iuggu.ru/download/2018-4-52-Zhabko.pdf> (accessed: 13.05.2024).
11. Васильев Н.Ю., Мострюков А.О., Петров В.А., Тверитинова Т.Ю., Тверитинов А.Ю. Параметры прямой связи между процессами эндогенного рудообразования и объемного разуплотнения горных пород, контролируемой тектоническими деформациями взбросового типа (по реконструкциям полей напряжений регионального и локального рангов). В кн.: *Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики: материалы 52-го Тектонического совещания, г. Москва, 28 января – 3 февраля 2020 г.* М.: ГИН РАН; 2020. С. 118–124.

12. Кочарян Г.Г. *Геомеханика разломов*. М.: ГЕОС; 2016. 424 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/35480> (дата обращения: 13.05.2024).
13. Pirajno F. *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Springer Dordrecht; 2019. 1250 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8613-7>
14. Семинский К.Ж., Кожевников Н.О., Черемных А.В., Бобров А.А., Оленченко В.В., Авгулевич Д.Л. Структура разломных зон Приольхонья (Байкальский рифт) по данным полевой тектонофизики и геофизики. *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений*. 2008;(7):111–123.
Seminsky K.Zh., Kozhevnikov N.O., Cheremnykh A.V., Bobrov A.A., Olenchenko V.V., Avgulevich D.L. Structure of fault zones in the Priolkhon region (Baikal rift) based on field tectonophysical and geophysical data. *Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits*. 2008;(7):111–123. (In Russ.)
15. Курленя М.В., Опарин В.Н., Тапсиев А.П., Аршавский В.В. *Геомеханические процессы взаимодействия породных и складчатых массивов при обработке пластовых рудных залежей*. Новосибирск: Наука; 1997. 173 с.
16. Канцель А.В. Функция распределения металла в рудах как генетическая характеристика процесса рудообразования. *Известия Академии наук СССР. Серия геологическая*. 1988;(10):18–30.
Kantsel A.V. Function of the metal distribution in ores as a genetic characteristic of the ore formation process. *Izvestiya Akademii Nauk SSSR. Seriya Geologicheskaya*. 1988;(10):18–30. (In Russ.)

Информация об авторах

Чуприн Константин Эдуардович – заместитель генерального директора по производству, «Альянс Алтын», г. Бишкек, Кыргызская Республика

Еременко Виталий Андреевич – доктор технических наук, профессор РАН, директор научно-исследовательского центра «Прикладная геомеханика и конвергентные горные технологии», профессор кафедры физических процессов горного производства и геоконтроля Горного института, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация, e-mail: prof.eremenko@gmail.com

Зарлыков Алмаз Куватович – аспирант кафедры полезных ископаемых, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, г. Бишкек, Кыргызская Республика

Курманалиев Капар Зарлыкович – горный инженер-геолог, Геолэкспертпроект, г. Бишкек, Кыргызская Республика; e-mail: grfgeology@gmail.com

Information about the authors

Konstantin E. Chuprin – Deputy General Director for Production, Altyn Alliance, Bishkek, Kyrgyz Republic

Vitaly A. Eremenko – Dr. Sci. (Eng.), Professor of RAS, Director of the Applied Geomechanics and Convergent Mining Technologies Research Center, Professor at the Department of Physical Processes of Mining Production and Geocontrol of the Mining Institute, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation; e-mail: prof.eremenko@gmail.com

Almaz K. Zarlykov – Postgraduate Student, Department of Mineral Resources, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Bishkek, Kyrgyz Republic

Kapar Z. Kurmanaliev – Mining Engineer-Geologist, Geolekspertproekt LLC, Bishkek, Kyrgyz Republic; e-mail: grfgeology@gmail.com

Информация о статье

Поступила в редакцию: 12.06.2024

Поступила после рецензирования: 09.07.2024

Принята к публикации: 15.07.2024

Article info

Received: 12.06.2024

Revised: 09.07.2024

Accepted: 15.07.2024



ШИНЫ ДЛЯ СПЕЦТЕХНИКИ



В НАЛИЧИИ
БОЛЬШОЙ
АССОРТИМЕНТ



СЕРВИСНОЕ
ОБСЛУЖИВАНИЕ И
ИНСПЕКТИРОВАНИЕ



ОПТИМАЛЬНОЕ
СООТНОШЕНИЕ
ЦЕНА/КАЧЕСТВО

16+

РЕКЛАМА

Официальный представитель ООО «Майнеринг СНГ»

+7 (343) 385-00-25

+7 (343) 385-00-30

Заявка на сайте



info@minering.ru

rda@minering.ru

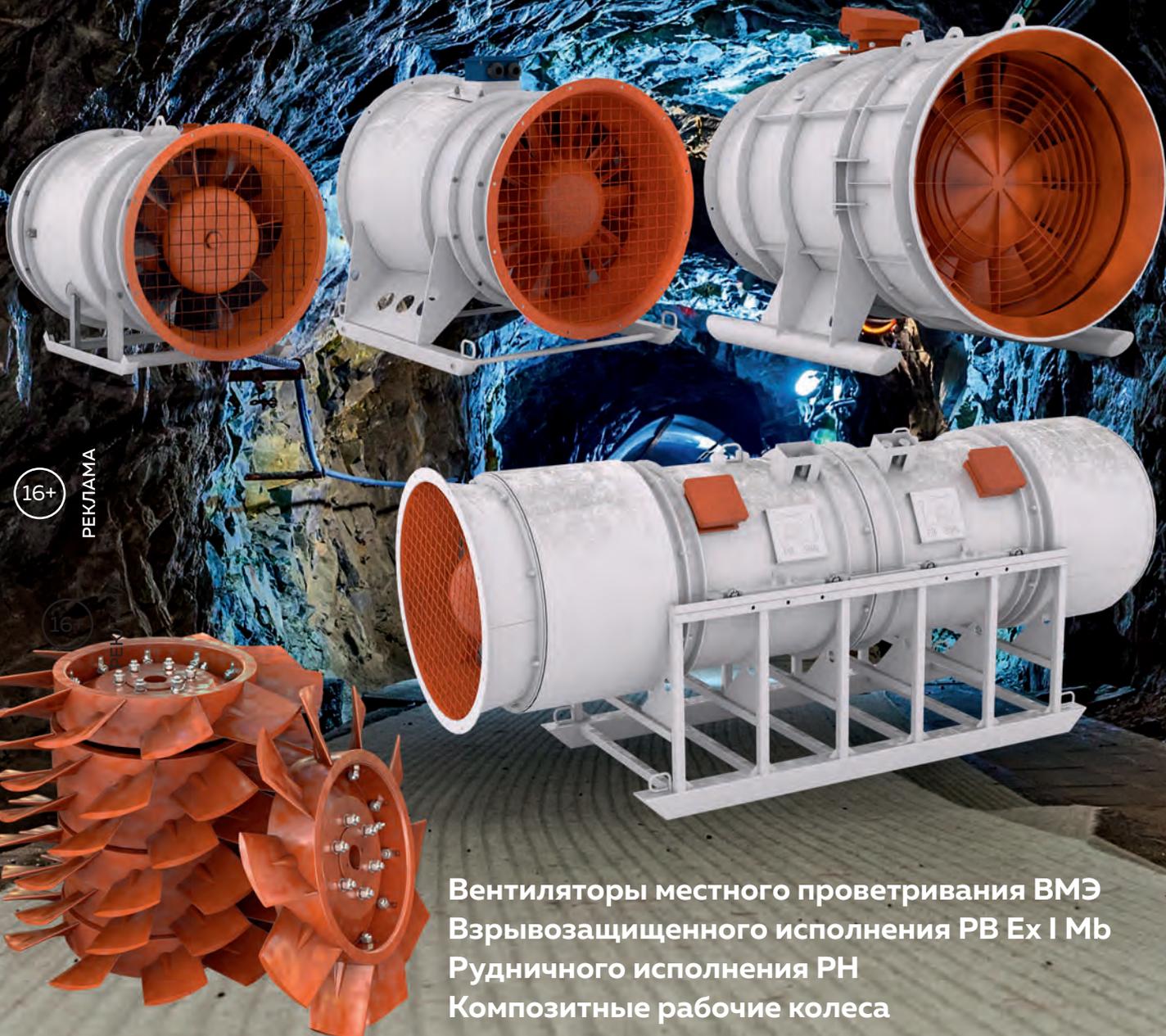
www.minering.ru



MINERING



ТЯГОДУТЬЕВЫЕ МАШИНЫ ДЫМОСОСЫ ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ И ОСЕВЫЕ ВЕНТИЛЯТОРЫ



16+

РЕКЛАМА

16+

Вентиляторы местного проветривания ВМЭ
Взрывозащищенного исполнения РВ Ex I Mb
Рудничного исполнения РН
Композитные рабочие колеса



НЕВЬЯНСКИЙ ЗАВОД ГОРНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

ООО «ЕРТ-Групп» • Россия, Екатеринбург
тел.: +7 (343) 346-97-11 • info@nzgm.ru

<http://nzgm.ru/>

Моделирование влияния открытых горных работ на состояние нижележащего массива при планировании отработки подземным способом с применением программного комплекса CAE Fidesys

И.В. Гладков¹, Е.Н. Якунчиков¹, А.Е. Румянцев², М.А. Соннов³✉

¹ АО «СУЭК», г. Новосибирск, Российская Федерация

² ООО «Институт Гипроникель», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

³ ООО «Фидесис», г. Москва, Российская Федерация

✉ Sonnov@cae-fidesys.com

Резюме: Применение численного моделирования быстропротекающих процессов при решении задач в масштабах месторождения остается актуальной научной и исследовательской проблемой. Наблюдения за влиянием на массив горных пород, расположенный под ранее отработанными открытым способом запасами, проводить невозможно. Возможны два пути изучения, заключающиеся в физическом и компьютерном (численном) моделировании. Применение физического моделирования требует лабораторной базы и значительных финансовых затрат и является менее предпочтительным для изучения процессов, протекающих при ведении взрывных работ в массиве, находящемся на глубине, но в котором ещё не ведутся подземные горные работы и нет возможности прямого измерения сейсмического сигнала от взрывных работ. Применение бурения с поверхности с установкой глубинных датчиков также требует значительных финансовых затрат и его не всегда возможно предусмотреть, так как работы могут быть разнесены во времени на десятки лет и ранее отработка подземным способом не планировалась. Стоимость выполнения исследований с применением численного моделирования значительно дешевле и помимо высокой квалификации специалиста требует только наличия программного обеспечения и производительного расчётного компьютера. В статье приведен пример применения численного моделирования с применением ПО CAE Fidesys с целью определения влияния технологических факторов при отработке открытым способом на горнотехнические условия отработки запасов пласта Польшаевский в условиях шахты им. А.Д. Рубана. Для формирования модели применен комплексный подход, от оптимизации геометрии взрывных скважин до выполнения пошагового расчета и анализа полученных результатов. Благодаря использованному подходу удалось получить качественную и количественную картину распределения деформаций массива в районе расположения пласта Польшаевский-2 от воздействия ранее осуществленных буровзрывных работ на поверхности.

Ключевые слова: уголь, буровзрывные работы, горные работы, горные породы, методы анализа, сейсмическое воздействие, численная модель, напряженно-деформированное состояние, деформации, пласт, система отработки

Для цитирования: Гладков И.В., Якунчиков Е.Н., Румянцев А.Е., Соннов М.А. Моделирование влияния открытых горных работ на состояние нижележащего массива при планировании отработки подземным способом с применением программного комплекса CAE Fidesys. *Горная промышленность*. 2024;(4):165–172. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-165-172>

Modeling the impact of surface mining operations on the condition of the underlying rock mass when planning underground mining operations using the CAE Fidesys software suite

I.V. Gladkov¹, E.N. Yakunchikov¹, A.E. Rumyantsev², M.A. Sonnov³✉

¹ SUEK JSC, Novosibirsk, Russian Federation

² Gipronickel Institute, St. Petersburg, Russian Federation

³ Fidesis LLC, Moscow, Russian Federation

✉ Sonnov@cae-fidesys.com

Abstract: Application of numerical modeling of fast processes when solving the field-scale tasks remains an actual scientific and research problem. It is impossible to make observations of the effect on the rock mass located beneath the previously mined open-pit reserves. Two ways of studying are possible, i.e. physical and computer (numerical) modeling. Application of physical modeling requires availability of laboratory facilities and is concerned with significant financial costs thus being less preferable

for studying the impact of processes that take place during blasting operations on the rock mass located at depth, but where underground mining operations are not yet underway and there is no possibility of direct measurement of the seismic signal from the blasting operations. Surface drilling with the installation of depth sensors also requires significant financial costs and its application is not always possible to foresee, as the activities may be separated in time by decades and underground mining was not previously planned. The cost of research with the use of numerical modeling is much cheaper and in addition to high qualification of the expert requires only the availability of software and a high-performance computer for the calculations. This paper provides an example of numerical modeling using the CAE Fidesys software suite to determine the effects of technological factors in open pit mining on the mining conditions of the Polysaevskiy seam reserves in conditions of the mine named after A.D. Ruban. A complex approach was used to create the model: from optimization of the blast hole geometry up to step-by-step calculation and analysis of the obtained results. A complex approach was used to create the model: from optimization of the blast hole geometry up to step-by-step calculation and analysis of the obtained results. This approach made it possible to obtain a qualitative and quantitative representation of the rock mass deformation distribution in the area of the Polysaevsky-2 seam as the result of previous surface drilling and blasting operations.

Keywords: coal, drilling and blasting operations, mining operations, rocks, analysis methods, seismic impact, numerical model, stress-and-strain state, deformations, seam, mining system

For citation: Gladkov I.V., Yakunchikov E.N., Rumyantsev A.E., Sonnov M.A. Modeling the impact of surface mining operations on the condition of the underlying rock mass when planning underground mining operations using the CAE Fidesys software suite. *Russian Mining Industry*. 2024;(4):165–172. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-165-172>

Введение

Отработка запасов угля подземным способом в непосредственной близости от участка открытых горных работ может быть осложнена производственной деятельностью карьера (разреза). Это связано с техническими и технологическими операциями при ведении добычных работ, которые могут приводить к ухудшению горно-геологических и горнотехнических условий при последующей отработке запасов шахтой.

При производстве открытых горных работ массив подвигается перераспределению напряжения в связи с выемкой и перемещением значительных объемов горной породы, а также воздействием сейсмической волны от массовых взрывов. При этом в случае начала подземных горных работ после завершения открытых исключается возможность инструментального замера параметров воздействия на горный массив непосредственно на уровне отработки шахтой. В данном случае параметры воздействия можно оценить только расчётными методами.

Перераспределение напряжения ранее рассматривалось только в отношении подземных производственных объектов (приконтурный массив и крепь горных выработок, целики, выработанное пространство и др.).

Для оценки влияния взрывных работ на горный массив наиболее используемым является метод определения размеров зон необратимых деформаций (радиус полости R_0 , радиусы зон разрушения R_* и наведенной трещиноватости R_1) [1]:

$$R_0 \cong \frac{0,61E^{1/3}}{(\rho c^2 \sigma^2)^{1/9}}; \tag{1}$$

$$R_* \cong R_0 (\rho c^2 / 4\sigma_*)^{1/3}; \tag{2}$$

$$R_1 \cong R_* \left[\frac{\sigma_*}{2(\sigma_0 + \rho g w)} \right]^{1/2}. \tag{3}$$

Одним из основных недостатков данного метода является то, что рассматриваемый массив распространения сейсмической волны представляется как однородная среда. В дополнение в настоящее время накоплено значительное количество экспериментальных данных, свиде-

тельствующих о наличии необратимых проявлений при взрывном воздействии и последующем деформировании массива горных пород в области, радиус которой существенно превосходит расчетные размеры зон необратимых деформаций [1]. В работе [2] с использованием метода динамической фотоупругости изучается взрывное воздействие, связанное с взаимодействием между волнами напряжений от взрыва и распространяющейся трещиной. Результаты показывают, что волны напряжений влияют на локальное поле напряжений в динамической вершине трещины и изменяют характер распространения трещины.

Вопрос влияния взрывных работ на сохранность сооружений, в том числе и горного массива, является актуальной проблемой для многих предприятий и широко освещается в научно-технической литературе [3–6].

Однако изучение в глубине массива такими методами невозможно.

Одним из методов, который позволяет произвести расчеты изменения физических параметров с учетом индивидуальных особенностей структурно-тектонического строения массива, внешних условий и режима протекания процесса, является метод конечных элементов (МКЭ). Так, в работе [7] проведен анализ адекватности применения МКЭ для решения задач взрывного превращения, а основной целью являлось определение областей разрушения вокруг скважины и характера распределения полей различных физических величин. С применением МКЭ в работе [8] оценено влияние сейсмического воздействия взрывных работ в ближней зоне.

В работе [9] приведен пример формирования численной модели, основной задачей которой является прогнозирование поведения массива горных пород под воздействием взрыва, в том числе определение степени повреждения, размера и формы выемки, смещения массива горных пород, распределения напряжений и деформаций. Указывается, что применение таких моделей дает положительный экономический эффект при отработке месторождений полезных ископаемых.

С применением численного моделирования путём объединения различных подходов в работе [10] решается за-

дача формирования трещин и их прочности на микрометрическом уровне.

В работе [11] предложен подход к определению скоростей смещения и деформаций массива с применением численного моделирования в программе ANLOG с помощью метода конечных элементов.

Методы численного моделирования успешно применяются зарубежными и отечественными специалистами при изучении взрывного разрушения горных пород [12–14].

В плане механики горных пород довольно трудно прогнозировать изменения напряженно-деформированного состояния массива после динамического нагружения слоистых пород, имеющих разные, серьезно отличающиеся прочностные свойства. Примером таких массивов могут служить месторождения угля. Решать подобные задачи численными методами представляется наиболее целесообразным.

Основная идея МКЭ состоит в том, что любую непрерывную величину можно аппроксимировать дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей (элементов), при этом кусочно-непрерывные функции определяются с помощью значений непрерывной величины в конечном числе точек рассматриваемой области. Однако данный метод требует значительного

количества производимых расчетов, что достигается посредством вычислительной техники и специально составленных вычислительных программ.

В данной работе рассмотрен опыт решения вышеприведенных задач посредством программного комплекса CAE Fidesys.

На шахте им. А.Д. Рубана с августа 2023 г. происходит снижение скорости подвигания очистного забоя лавы №807 угольного пласта Польшаевский-2 вследствие куполообразования, что связано с резким уменьшением прочности и устойчивости горных пород (рис. 1). Локация куполообразования располагается под ранее отработанным открытым способом участком вышележащего пласта (рис. 2), при этом подземные горные работы были начаты по завершении открытых. Согласно методике расчетов зоны необратимой деформации (R_0 , R^* , R_1) рассматриваемый пласт находится за её пределами.

Поставленные задачи

Посредством программного комплекса CAE Fidesys произведено решение следующих задач:

1. Определение влияния подвигания забоя и формирования отвала разреза «Моховский» на разупрочнение угольного пласта Польшаевский-2 и вмещающих пород.
2. Определение влияния взрывных работ разреза «Моховский» на разупрочнение угольного пласта Польшаевский-2 и вмещающих пород.

Подходы к решению поставленных задач

1. Ранее в CAE Fidesys решались задачи по рассмотрению процесса нарушения массива, прилегающего к контуру горных выработок, путем выявления участков, в которых напряжения приводили к пластическим деформациям при решении в упруго-пластической постановке или через коэффициент запаса прочности при решении в упругой постановке. В данном случае рассматривается частичное разрушение нетронутого массива, находящегося в условиях гидростатического напряжения напрямую через параметр «деформация».
2. Для решения задачи о распространении волн был применен метод спектральных элементов (МСЭ) модуля Fidesys Dynamics, который эффективен для расчетов нестационарных задач с быстропротекающими процессами, требующих особой точности. Эта одна из современных модификаций МКЭ. Основными преимуществами МСЭ по сравнению с традиционным методом конечных элементов являются более высокая скорость выполнения расчетов, высокая точность аппроксимации искомого решения при относительно небольшом числе элементов. Такой подход позволяет фиксировать деформацию как в период распространения, так и наложения затухающих и отраженных волн.

Моделирование

Модель горного отвода, состоящая из переслаивания осадочных пород, была импортирована из системы автоматизированного проектирования в препроцессор комплекса CAE Fidesys. Значительные размеры модели – 330 м по вертикали на 2500 м по горизонтали – обуславливают решение задачи распространения сейсмозрывной волны в 2D постановке. В границы модели входит массив

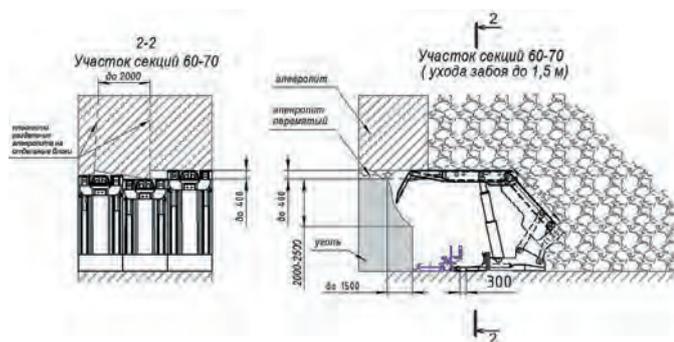


Рис. 1
Лавы №807 угольного пласта
Польшаевский-2

Fig. 1
Longwall face No. 807 of the
Polysaevsky-2 coal seam

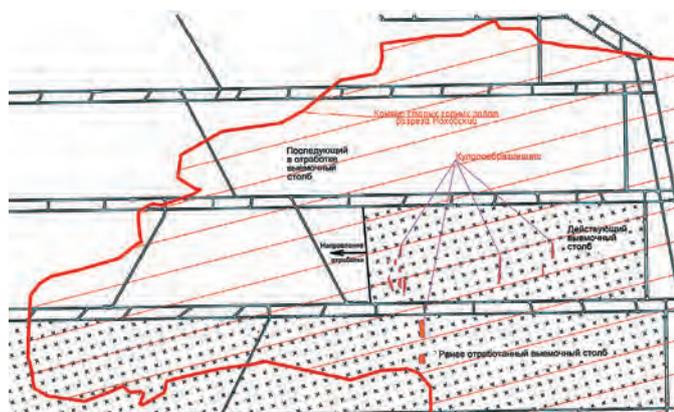


Рис. 2
Схема локации
куполообразования под ранее
отработанным открытым
способом участком
вышележащего пласта

Fig. 2
A schematic representation
of doming under the overlying
seam section that was
previously worked out by the
surface mining method

Таблица 1
Физико-механические свойства породы

Table 1
Physical and mechanical properties of the rocks

Наименование пород	Модуль Юнга, ГПа	Коэффициент Пуассона	Плотность, кг/м ³
Грунт (моделирование горных пород, покрывающих пласт Красногорский)	0,2	0,3	1900
Пористый грунт (моделирование горных пород, покрывающих пласт Красногорский после переэкскавации)	1	0,25	1800
Имитация (пустого пространства в период выемки разрезом горных пород, покрывающих пласт Красногорский после переэкскавации)	–	–	100
Песчаник	44,38	0,29	2630
Алевролит	28,58	0,2	2584
Уголь	6,73	0,04	1330

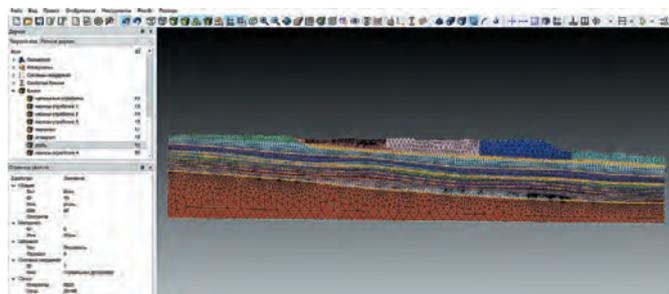


Рис. 3
Представление модели с объёмами извлечения и взрывания

Fig. 3
Representation of the model with the mining and blasting volumes

горного отвода от дневной поверхности до подстилающих пласт Полысаевский-2 пород. Для исключения влияния граничных условий мощность пород почвы пласта Полысаевский-2 условно увеличиваем до 150 м. Каждый пласт выделяется в отдельный домен. Домены по призна-

ку «тип породы» объединяются в отдельные блоки. Блокам присваиваются соответствующие упруго-прочностные характеристики (табл. 1).

Для моделирования пошагового изменения условий нагружения массива покрывающие отработанный разрезом пласт Красногорский породы разбиты на отдельные объемы, соответствующие отдельному циклу отработки (выемки и переэкскавации пород). Для моделирования воздействия энергии взрывных работ разреза на горный массив в границах одного отдельного объема сформированы скважины, имитирующие взрывные работы (рис. 3). Ввиду моделирования большого числа скважин для уменьшения количества конечных элементов и уменьшения зон концентрации напряжений принята игловидная форма скважин и проверено качество конечно-элементной сети (рис. 4). При генерировании сетки конечных элементов необходимо уделить особое внимание проверке качества сетки на участках выклинивания пластов (рис. 5). Для обеспечения баланса скорости и качества расчётов при моделировании сейсмозврывных волн принят 4-й порядок элементов в первоначально построенной сетке.

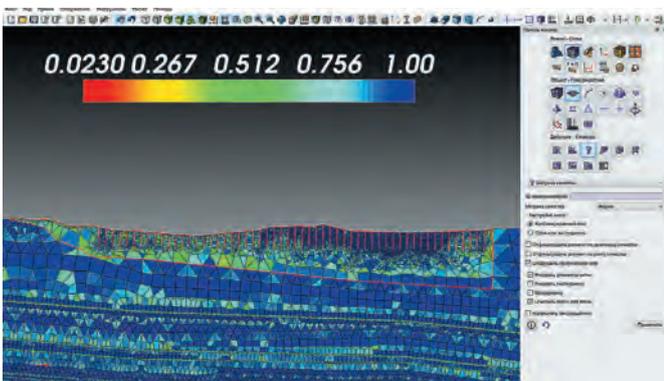


Рис. 4
Формирование скважин и проверка качества конечно-элементной сети

Fig. 4
Creation of the boreholes and verification of the finite element network quality

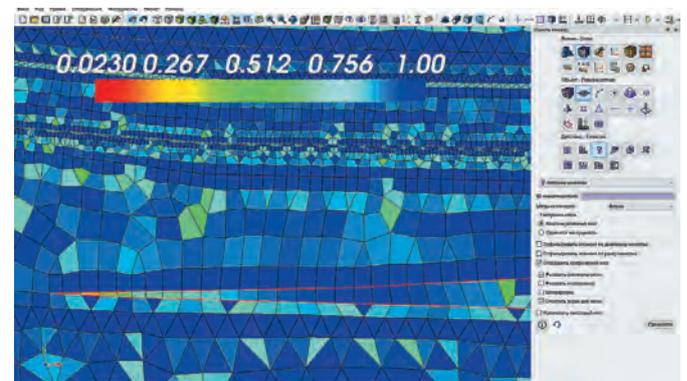


Рис. 5
Проверка качества конечно-элементной сети в местах выклинивания пластов

Fig. 5
Verification of the finite element network quality in places of seam thinning

Принятие внешних и граничных условий, параметров расчета

Для задачи 1:

- для всей модели задается сила гравитации (для формирования нагрузок в моделях от собственного веса вышележащих пород);
- для нижней границы модели накладывается запрет на перемещение по вертикальному направлению;
- для боковых границ модели задаются свойства неотражающих поверхностей (для исключения возникновения разницы напряжения внутри отдельных слоев при боковом распоре);
- в условиях расчета напряженно-деформированного состояния задано 6 шагов нагружения с изменением свойств материала, где до отработки домен имеет свойства грунта, после выемки материала – с 0-ми параметрами (имитация пустого пространства), после переэкскавации – свойства рыхлого грунта (имитация отвала);
- для определения воздействия подвигания забоя разреза на массив осуществлён статический расчет напряженно-деформированного состояния в упругой постановке.

Для задачи 2:

- на стенки скважин прикладывается распределенная сила по зависимости Берлаге с условиями, обеспечивающими параметры на первом положительном полупериоде: давление 22 ГПа с продолжительностью 0,0033 с (для имитации детонации ВВ без зазора между ВВ и стенками скважин со скоростью 6000 м/с) (рис. 6);
- воздействие гравитации отключается (для исключения деформаций от собственного веса вышележащих пород, при этом свойства распространения волны не изменятся);
- при моделировании волнового воздействия границам модели присваиваются неотражающие поверхности, но ввиду значительности габаритов модели и недостижения волнами со значительной амплитудой границ модели данным условием можно пренебречь и присвоить стандартные граничные условия;
- для определения воздействия сеймовзрывной волны на массив осуществляется расчет временного анализа.

Анализ результатов

Основной задачей рассматриваемого моделирования является определение степени разупрочнения подзем-

ных горных пород под влиянием горных работ разреза, то есть увеличения в размерах существующих систем трещин и формирования новых. Развитие трещин в массиве происходит при смещении соседних точек массива. Выбор в качестве критерия «смещение» может быть непоказательным, поскольку отражает смещение соседних точек в одном и том же направлении относительно первоначального их положения. Деформация – изменение формы и размеров массива, связанное с перемещением друг относительно друга соседних точек. По вышеизложенным соображениям в качестве критерия степени влияния горных работ разреза на разупрочнение массива при ведении подземных горных работ принята «деформация». Для наглядности в шкале деформаций в анализе результатов выделены отдельные спектры для диапазонов значений: синий – от 0 до 10^{-4} (уровень деформации, при котором не происходит нарушения целостности горного массива [1]); фиолетовый – от 10^{-4} до 0,001; бирюзовый – от 0,001 до 0,04; зеленый – от 0,04 до 0,1; желтый – от 0,1 до 1; красный – от 1 до предельного значения.

Для задачи 1. С использованием кода (рис. 7) для программируемого фильтра в ПО Fidesys Viewer производится исключение из полученных результатов величины первоначальной деформации от первого расчётного шага, когда модель получает природное напряженное состояние. По результатам моделирования пошагового подвигания борта разреза деформации пласта Польшаевский-2 получены величины деформаций со значениями от 10^{-4} до 0,001. При таких значениях деформаций естественные трещины могут раскрываться, что будет оказывать негативное влияние на устойчивость при ведении подземных горных работ (рис. 8–11).

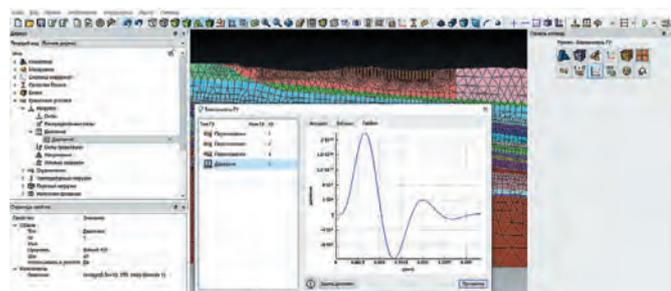


Рис. 6
Имитация давления на стенки скважины в ПО Fidesys

Fig. 6
Simulation of borehole wall pressure in the Fidesys software suite

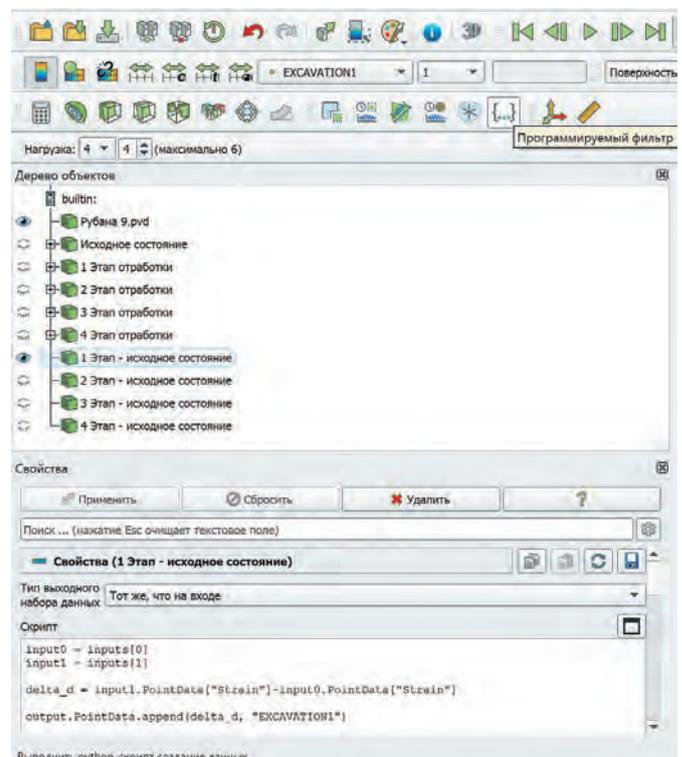


Рис. 7
Код для исключения из полученных результатов величины первоначальной деформации

Fig. 7
Code for excluding initial deformation value from the results obtained

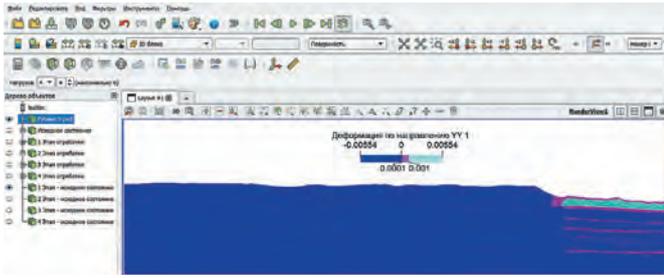


Рис. 8
Первый шаг
отработки разрезом пласта
Красногорский

Fig. 8
The first step in strip mining
of the Krasnogorsky coal
seam

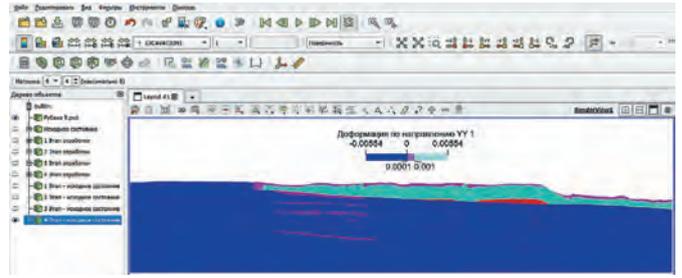


Рис. 12
Временной интервал 0,03 с

Fig. 12
Time span of 0.03 s

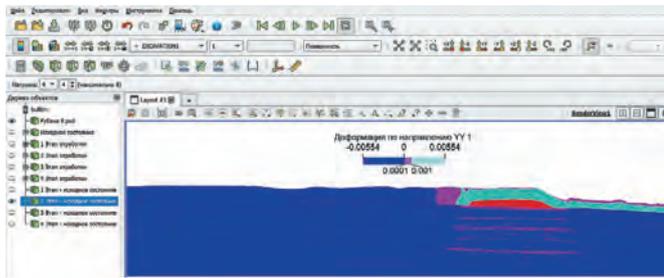


Рис. 9
Второй шаг
отработки разрезом пласта
Красногорский

Fig. 9
The second step in strip mining
of the Krasnogorsky
coal seam

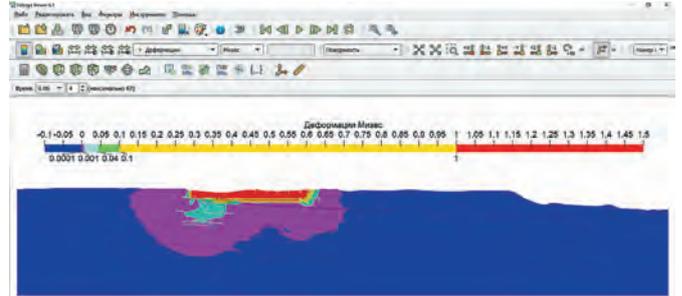


Рис. 13
Временной интервал 0,06 с

Fig. 13
Time span of 0.06 s

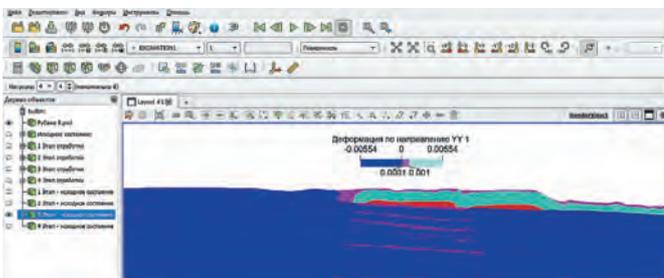


Рис. 10
Третий шаг
отработки разрезом пласта
Красногорский

Fig. 10
The third step in strip mining
of the Krasnogorsky coal
seam

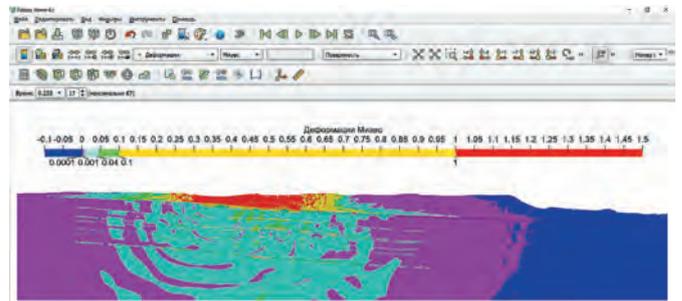


Рис. 14
Временной интервал 0,255 с

Fig. 14
Time span of 0.255 s

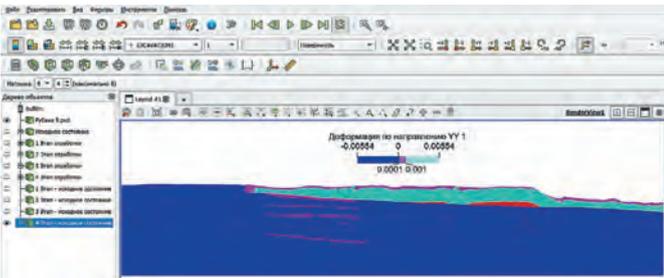


Рис. 11
Четвёртый шаг отработки
разрезом пласта
Красногорский

Fig. 11
The fourth step in strip mining
of the Krasnogorsky coal
seam

Для задачи 2. Основной массив деформации ограничен по глубине в пределах пород до первого угольного пласта Красногорский (демпфер-экрана) (рис. 12–14), ниже которого происходит распределение среднего уровня деформации с резким увеличением в пределах угольных пластов, в том числе Польшаевского-2. Это связано с проходом и отражением сейсмических волн на границах раздела сред, изменением упруго-прочностных свойств и формированием разницы значений главных напряжений (увеличение девиатора напряжений) из-за одновременного взрывания большого количества ВВ (с порядным замедлением, в модели рассмотрено одновременное взрывание одного ряда скважин). При этом стоит отметить, что уровни деформации от 10^{-4} до 0,001 при взрывных работах отмечаются на временном промежутке после завершения детонации заряда (0,003 с) и прохождения первичной

сейсмической волны (0,03 с для глубины 200 м, соответствующей горизонту пласта Польшаевский-2) (см. рис. 12–14). Деформации более 0,001 с зафиксированы в период распространения и наложения затухающих и отраженных волн. На рисунках отчетливо видна неравномерность распространения сейсмозрывных волн, связанная с неравномерной слоистой структурой массива.

Выводы

1. В результате численного моделирования подтверждено, что наличие слоев в горной породе приводит к неоднородному распространению волн. Это выражается в снижении скорости распространения, но также приводит к увеличению деформаций из-за возможной интерференции волн.

Для определения степени нарушенности горного массива от воздействия открытых горных работ, в том числе взрывных работ, посредством программного комплекса CAE Fidesys установлена возможность оценки критического уровня деформации. Результаты, полученные при моделировании, коррелируют с наблюдаемой в шахтных условиях ситуацией при ведении горных работ.

Основной задачей такой модели является прогнозирование поведения массива горных пород под воздействием взрыва, в том числе определение степени повреждения через деформации.

Используемая численная модель обеспечивает комплексный и экономичный подход к анализу процессов

на инженерном уровне и является одним из эффективных способов оценки состояния сложноструктурного массива с учетом динамического нагружения, поскольку позволяет изучить различные физические поля и определить степень нарушения в интересующей области модели (пласта).

2. Для определения изменений в массиве, происходящих под влиянием техногенных воздействий, можно, используя программируемый фильтр (сценарии python) в постпроцессоре CAE Fidesys, который позволяет исключить изменения в массиве при первичном наложении внешних условий, таких как гравитация.

Дополнительный модуль Fidesys Dynamics расширяет функционал CAE Fidesys возможностью расчетов нестационарных задач с быстропротекающими процессами, требующих особой точности, методом спектральных элементов как математический аппарат для описания воздействия взрывной волны в сложной блочной системе. Поскольку превышения критического уровня деформации горного массива зафиксированы в период распространения и наложения затухающих и отраженных волн, CAE Fidesys позволяет выявить необратимые проявления при взрывном деформировании массива горных пород в области, радиус которых существенно превосходит величину, рассчитанную согласно традиционной методике.

Список литературы / References

1. Садовский М.А. *Избранные труды. Геофизика и физика взрыва*. М.: Наука; 2004. 440 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/21916> (дата обращения: 21.05.2024).
2. Xu P., Yang R.-S., Guo Y., Chen C., Kang Y. Investigation of the effect of the blast waves on the opposite propagating crack. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2021;144:104818. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmmms.2021.104818>
3. Верхоланцев А.В., Шулаков Д.Ю., Дягелев Р.А. Особенности оценки сейсмического воздействия буровзрывных работ. *Горный журнал*. 2019;(5):29–35. <https://doi.org/10.17580/gzh.2019.05.05>
Verkholantsev A.V., Shulakov D.Yu., Dyagilev R.A. Features of assessing seismic effects of blasting operations. *Gornyi Zhurnal*. 2019;(5):29–35. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2019.05.05>
4. Холодильов А.Н., Господариков А.П., Еременко А.А. Методические основы классификации взрывов по уровню их сейсмического действия. *Горный журнал*. 2021;(5):98–102. <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.05.13>
Kholodilov A.N., Gospodarikov A.P., Eremenko A.A. Procedural framework for explosion classification by the seismic load criterion. *Gornyi Zhurnal*. 2021;(5):98–102. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.05.13>
5. Hosseinzadeh Gharehgheshlagh H., Alipour A. Ground vibration due to blasting in dam and hydropower projects. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik (The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin)*. 2020;35(3):59–66, <https://doi.org/10.17794/rgn.2020.3.6>
6. Марысюк В.П., Сабянин Г.В., Трофимов А.В., Киркин А.П. Определение параметров скважинных зарядов ВВ при очистной отбойке на основе расчета зон разрушения и районирования руд по физико-механическим свойствам. *Горный журнал*. 2020;(1):58–62. <https://doi.org/10.17580/gzh.2020.01.11>
Marysyuk V.P., Sabyanin G.V., Trofimov A.V., Kirkin A.P. Designing blast patterns by calculation of fracture zones and ore zoning by physical and mechanical properties. *Gornyi Zhurnal*. 2020;(1):58–62. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2020.01.11>
7. Камянский В.Н. Моделирование взрыва скважинных зарядов в среде Ansys. *Проблемы недропользования*. 2017;(1):119–126. <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2017.01.119>
Kamyansky V.N. Borehole blasting simulation using Ansys software. *Problems of Subsoil Use*. 2017;(1):119–126. (In Russ.) <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2017.01.119>

8. Камянский В.Н. Оценка сейсмозрывных нагрузок на законтурный массив при разделке отрезной щели. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2018;(7):181–188. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-7-0-181-188>
Kamyansky V.N. Estimation of seismic load of blasting on pit wall rock mass during blasted slot making. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2018;(7):181–188. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-7-0-181-188>
9. Мысин А.В., Ковалевский В.Н. Моделирование состояния сложноструктурного массива с учетом динамического нагружения. *Горный журнал*. 2024;(5):38–47. <https://doi.org/10.17580/gzh.2024.05.03>
Mysin A.V., Kovalevskiy V.N. Modeling behavior of complex-structured rock mass with regard to dynamic impact. *Gornyi Zhurnal*. 2024;(5):38–47. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2024.05.03>
10. Pan C., Li X., Li J., Zhao J. Numerical investigation of blast-induced fractures in granite: insights from a hybrid LS-DYNA and UDEC grain-based discrete element method. *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*. 2021;7:49. <https://doi.org/10.1007/s40948-021-00253-6>
11. Toraño J., Rodríguez R., Diego I., Rivas J.M., Casal M.D. FEM models including randomness and its application to the blasting vibrations prediction. *Computers and Geotechnics*. 2006;33(1):15–28. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2006.01.003>
12. Mysin A., Kovalevskiy V. Creation and Verification of Numerical Model of Explosive Charge Blast in The Ansys Software System, for the Purpose of Substantiating the Optimal Parameters of Drilling and Blasting Operations. *E3S Web of Conferences*. 2020;174:01046. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017401046>
13. Onederra I.A., Furtney J.K., Sellers E., Iverson S. Modelling blast induced damage from a fully coupled explosive charge. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2013;58:73–84. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2012.10.004>
14. Bonet J., Wood R.D. *Nonlinear Continuum Mechanics for Finite Element Analysis*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press; 2008. 318 p. Available at: <https://www.klancek.si/sites/default/files/datoteke/files/bonet-woodnonlinearcontinuummechanics2ndedition.pdf> (accessed: 21.05.2024).

Информация об авторах

Гладков Иван Владимирович – инженер по планированию горных работ, АО «СУЭК», г. Новосибирск, Российская Федерация; e-mail: GladkovIV@suek.ru

Якунчиков Евгений Николаевич – кандидат технических наук, начальник управления технических сервисов подземных горных работ, АО «СУЭК», г. Новосибирск, Российская Федерация; e-mail: IakunchikovEN@suek.ru

Румянцев Александр Евгеньевич – кандидат технических наук, главный специалист лаборатории геотехники, ООО «Институт Гипроникель», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-2204-961X; e-mail: RumyantsevAE@nornik.ru

Соннов Максим Александрович – действительный член Академии горных наук, заместитель генерального директора по продажам, ООО «Фидесис», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: Sonnov@cae-fidesys.com

Information about the authors

Ivan V. Gladkov – Engineer for planning of mining operations, SUEK JSC, Novosibirsk, Russian Federation; e-mail: GladkovIV@suek.ru

Evgeny N. Yakunchikov – Cand. Sci. (Eng.), Head of Technical Services Department for Underground Mining Operations, SUEK JSC, Novosibirsk, Russian Federation; e-mail: IakunchikovEN@suek.ru

Alexandr E. Rumyantsev – Cand. Sci. (Eng.), Chief Specialist, Laboratory of Geotechnical Engineering, GiproNikel Institute, St. Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-2204-961X>; e-mail: RumyantsevAE@nornik.ru

Maksim A. Sonnov – Full Member of the Academy of Mining Sciences, Deputy General Director for Sales, Fidesis LLC, Moscow, Russian Federation; e-mail: Sonnov@cae-fidesys.com

Информация о статье

Поступила в редакцию: 07.06.2024

Поступила после рецензирования: 09.07.2024

Принята к публикации: 16.07.2024

Article info

Received: 07.06.2024

Revised: 09.07.2024

Accepted: 16.07.2024

КИРОВЕЦ®

▶ **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ
ТРАНСМИССИЯ**

Коробка передач с системой быстрого реверса и пневматическим переключением 2 диапазонов.

▶ **ДВИГАТЕЛЬ ЯМЗ**

Современный 6-цилиндровый дизельный двигатель с системой охлаждения наддувочного воздуха типа «воздух-воздух».

▶ **ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИКА**

Гидравлический распределитель с электроуправлением.

▶ **ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННАЯ РАМА**

Изменение угла поворота и уменьшение радиуса разворота обеспечивают маневренность грейдера.

▶ **УПРАВЛЕНИЕ РАБОЧИМ
ОБОРУДОВАНИЕМ**

Электрические джойстики облегчают контроль над техникой.

▶ **ПОЛНОПОВОРОТНЫЙ ОТВАЛ**

Угол установки — 360 градусов.



**ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ТРАКТОРНЫЙ ЗАВОД**

WWW.KIROVETS-PTZ.COM



РЕКЛАМА

**Грейдер
КИРОВЕЦ К-714
200 л.с.**

Организация удаленных центров управления горным предприятием: стратегические предпосылки и этапы реализации

А.Ф. Клебанов¹ ✉, А.В. Бондаренко², Ю.Л. Жуковский³, Д.А. Клебанов⁴

¹ ГК «Цифра», г. Москва, Российская Федерация

² ООО «Цифровые технологии производства», г. Кемерово, Российская Федерация

³ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

⁴ Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук,

г. Москва, Российская Федерация

✉ aleksey.klebanov@zyfra.com

Резюме: В статье предложен план реализации проекта построения удаленного центра управления горнодобывающим предприятием: 1 – создание инфраструктурных и технологических условий для удаленного управления техникой и горными работами; 2 – организация центра управления, удаленного на значительное расстояние от места ведения горных работ, и перенос в него последовательно функций планирования, мониторинга, контроля и диспетчеризации; 3 – разработка методического и нормативного обеспечения для ведения горных работ с применением роботизированной техники и переход к дистанционному управлению и автономным технологиям добычи полезных ископаемых. Показано, что необходимым условием результативного выполнения проекта является разработка и промышленная реализация цифровых платформенных решений для интеграции, сквозной оптимизации, централизованного сбора и анализа данных, контроля и мониторинга полного цикла управления горным производством. Приведены аргументы целесообразности организации специализированных сервисных управляющих компаний (на базе ИТ компаний – разработчиков и/или интеграторов цифровых горных технологий) для удаленного управления интеллектуальным горным предприятием. Обосновывается необходимость создания аналитических центров поддержки принятия решений для оптимизации процессов горного производства (как одного из ключевых подэтапов проекта) на базе ведущих научных организаций и университетов горного профиля. На примере лаборатории «Цифровое горное производство» Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II формулируются цели и задачи удаленного аналитического центра. Утверждается, что создание аналитических центров поддержки принятия решений будет способствовать подготовке квалифицированных научных кадров и ускорит процессы трансформации высшего образования России.

Ключевые слова: цифровизация, цифровая трансформация, цифровая промышленная платформа, платформенные решения, роботизированные технологии, удаленный центр управления, цифровой двойник, сквозная оптимизация, горнотехнические системы, горнотранспортный комплекс, MES, ROC

Для цитирования: 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>

Establishing remote control centers of a mining operation: strategic prerequisites and implementation stages

A.F. Klebanov¹ ✉, A.V. Bondarenko², Yu.L. Zhukovsky³, D.A. Klebanov⁴

¹ Zyfra Group, Moscow, Russian Federation

² Digital Production Technologies LLC, Kemerovo, Russian Federation

³ Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

⁴ Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

✉ aleksey.klebanov@zyfra.com

Abstract: The article proposes the following plan to implement a project to create a remote control center of a mining company: (1) creation of infrastructural and technological conditions for remote control of equipment and mining operations; (2) organization of the control center that is located at a significant distance from the mining operations and successively transfer to it the functions of planning, monitoring, control and dispatching; (3) development of methodological and regulatory support for mining operations with the use of robotic equipment and transition to remote control and autonomous mining technologies. It is shown that the necessary condition for effective execution of the project is the development and industrial implementation of digital platform solutions for integration, end-to-end optimization, centralized data collection and analysis,

control and monitoring of the complete management cycle of mining production. Arguments are provided for the expediency of organizing dedicated service management companies (based on IT companies, i.e. developers and/or integrators of digital mining technologies) for remote management of the Intelligent Mining Enterprise. The necessity of creating analytical centers to support decision making for optimization of mining production processes (as one of the key sub-stages of the project) on the basis of leading research organizations and Universities of mining profile is justified. Goals and objectives of the Remote Analytical Center are formulated using the case of the Digital Mining Production Laboratory at the Empress Catherine II St. Petersburg Mining University. It is stated that creation of analytical centers for decision support will contribute to training of qualified academic staff and accelerate the transformation processes of the Russian higher education.

Keywords: digitalization, digital transformation, digital industrial platform, platform solutions, robotic technologies, remote control center, digital twin, end-to-end optimization, mining systems, mining transportation complex, MES, ROC

For citation: 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>

Введение

Освоение месторождений полезных ископаемых с каждым годом ведется все в более сложных горно-геологических, природно-климатических и социально-экономических условиях. Увеличивается глубина разработки месторождений, истощается минерально-сырьевая база; разработку новых месторождений приходится вести в отдаленных и труднодоступных регионах [1]. Все это сказывается на эффективности работы горных предприятий. По некоторым оценкам [2], за последнее десятилетие капитальные затраты выросли на 33%, эксплуатационные расходы – на 90%, а рентабельность снизилась более чем на 28%. Мировой тенденцией является также кратное снижение качества добываемых руд [3]. Среднее содержание металла в руде снизилось: для меди – с 2,1 до 0,4%; свинца – с 2,7 до 0,6%; цинка – с 4,6 до 4%; олова – с 1,2 до 0,4%. Аналогичное снижение среднего содержания полезного компонента фиксируется и для других руд: золота, железа, фосфатов. Многие разведанные запасы находятся сегодня на предельной отметке экономической целесообразности освоения, и для перевода их в разряд доступных нужно располагать при проектировании добычи целым арсеналом инновационных технико-технологических решений. Инновации и научно-технический прогресс в области разведки, добычи и переработки минерального сырья в значительной степени определяют также экономическую эффективность (конкурентоспособность) действующих предприятий горно-металлургического комплекса (ГМК), ориентированных на достижение целей устойчивого развития, но балансирующих зачастую на грани рентабельности вследствие указанных выше общих тенденций и волатильности конъюнктуры отраслевых рынков [4].

Автоматизация горного производства, цифровизация (часто в последние годы употребляется термин «цифровая трансформация») и более глубокий пересмотр бизнес-моделей в ходе цифровой трансформации являются равноправными факторами (направлениями) повышения уровня конкурентоспособности горнодобывающих предприятий наряду с внедрением технологических и технических инноваций: новых технологий взрывания и буровзрывных работ; циклично-поточных технологий; более производительного горно-шахтного оборудования; новых технологий дробления и обогащения. Более того, резервы цифровых и телекоммуникационных технологий еще далеки от исчерпания и в последние годы мы являемся свидетелями стремительного продвижения в области роботизации, анализа Больших данных, Искусственного интеллекта (ИИ), цифрового моделирования, технологий беспроводной передачи данных, промышленного интернета вещей, распределенного реестра, спутниковой навигации [5] – в то время как темпы развития и модернизации технических и технологических решений невелики и неравномерны во времени.

Этапы цифровой трансформации

Цифровая трансформация горнодобывающих предприятий прошла с начала 90-х годов прошлого столетия несколько этапов [6]. В последние годы наметился ряд новых направлений развития цифровой трансформации, связанных с организацией удаленных центров управления, применением платформенных интеграционных решений и цифровых двойников производственных процессов (рис. 1).



Рис. 1
Этапы цифровизации
и цифровой
трансформации

Fig. 1
Stages of digitalization
and digital
transformation



Рис. 2
Основные направления развития цифровизации горного предприятия

Fig. 2
Main trends in digitalization of mining operations

Отметим, что все пройденные этапы цифровой трансформации приводили к повышению производительности технологических процессов и снижению эксплуатационных затрат. Роботизация на открытых горных работах только за счет изменения нормативных геотехнологических параметров проектирования карьеров (уменьшение ширины технологических дорог, увеличение допустимых углов откосов бортов карьера, увеличение уклонов и средних скоростей транспортировки) может привести к значительному повышению производительности горных работ и снижению себестоимости добычи с одновременным повышением уровня безопасности [7]. Однако в России роботизация горного производства продвигается очень медленными темпами, а вопрос об эффективности цифровых решений не так однозначен, если рассматривать эффекты с учетом доли отдельных процессов в общей структуре себестоимости добычи. Локальное применение цифровых технологий в отдельных производственных процессах (характерное для первых этапов цифровой трансформации, но часто практикуемое и в настоящее время) сводится к сокращению текущих затрат на добычу и переработку минерального сырья лишь на 0,5–6% [3]. Эти значения могут быть еще ниже из-за неэффективного и неполного использования функционала установленных на предприятии цифровых решений вследствие кадровых и других объективных и субъективных факторов. Есть основания полагать, что новые этапы цифровой трансформации существенно повысят эффективность (до 15–20%) цифровых решений в общей структуре затрат предприятия на добычу и переработку минерального сырья и сделают их сопоставимыми с внедрением технологических инноваций и нового оборудования. При этом инвестиции, связанные с внедрением цифровых решений и переходом к новой системе организации производства, могут быть в несколько раз и даже на порядки меньше, чем затраты на модернизацию предприятия за счет новых технологических решений и оборудования.

Все этапы цифровой трансформации взаимосвязаны, и роботизация горной добычи тесно связана с организацией удаленных центров управления горным предприятием, а также развитием технологий ИИ и цифровых двойников. Именно эти тренды развития цифровой трансформации (рис. 2) определены в последних исследованиях лидером стратегического консалтинга «Яков и Партнеры» как основные направления развития цифровых технологий горной отрасли на ближайшие годы [8]. Этот очередной этап цифровой трансформации уже непосредственно связан с преобразованием всех бизнес-процессов работы горной компании: фокус ИТ инициатив, заданный предыдущими этапами, смещается от технологий к человеку, то есть к изменению традиционных принципов работы компании и трансформации бизнес-процессов и рабочих мест [9].

Стратегические предпосылки организации Удаленных центров управления

Рассмотрим более подробно вопрос организации удаленных центров управления, то есть задачи и этапы централизации и переноса функции управления с мест ведения горных работ в удаленные центры управления горным предприятием. Под удаленными центрами управления здесь и далее в статье мы будем понимать центры управления, созданные в городах и крупных промышленных агломерациях с развитой социальной и технологической инфраструктурой на значительном расстоянии (сотни и тысячи километров) от места проведения горных работ.

Удаленные центры управления позволят организовать управление горным предприятием с реализацией роботизированных технологий добычи и интеграцией ключевых бизнес-процессов предприятия. Для реализации такого сложного комплексного ИТ проекта возможно окажется целесообразной передача значительной части функций управления сервисной управляющей компании (полностью независимой или аффилированной с горной



Рис. 3
Комплексная система управления горным производством

Fig. 3
Integrated system of mining operations management

компанией), созданной на базе разработчика (вендора) и/или интегратора цифровых технологий горного производства. Обязательным условием является привлечение в штат этой новой компании специалистов из горных, аутсорсинговых и консалтинговых предприятий – экспертов в области теории и практики управления промышленными предприятиями и аналитики производственных данных. Уровень цифровых технологий и компетенций должны позволить такой управляющей компании реализовать удаленное управление сразу несколькими горными предприятиями.

Организация специальной сервисной управляющей компании с размещением ключевого функционала в «одной комнате» и в едином контуре данных обеспечат горному предприятию следующие преимущества:

- возможность внедрения сложных ИТ решений, которые предприятие не в состоянии реализовать самостоятельно;
- возможность анализировать работу горного предприятия целиком, а не отдельные фрагменты, которые нужно «сшивать», и делать выводы; при этом сразу становятся видны неэффективные или дублирующие процессы, что является поводом для оптимизации;
- поддержку актуальности данных и более глубокое понимание бизнес-процессов;
- увеличение скорости принятия управленческих решений (все рядом и отклик на изменения быстрее) и уменьшение числа несогласованных действий и ошибок;
- удешевление обслуживания программно-аппаратной инфраструктуры;
- оптимизацию зеркалирования и резервного дублирования данных;
- облегчение поиска высококвалифицированного персонала;
- экономию на издержках обеспечения жизнедеятельности персонала в удаленных регионах и доставки сотрудников при работе вахтовым методом;
- близость специалистов к внешним сервисам: проект-

ным организациям, надзорным и разрешительным органам.

Выбор конкретной конфигурации программно-аппаратного комплекса удаленного центра управления решается на этапе проектирования. Обязательные общие разделы такого проекта должны быть связаны с организацией бесперебойной работы программного обеспечения, шифрованием данных и другими вопросами информационной безопасности. Также в проекте должна быть предусмотрена бесшовная интеграция, при которой общая шина данных позволит обеспечить обмен информацией между входящими в контур управления системами практически без задержки.

В перспективе концентрация высококвалифицированных ИТ специалистов и горных инженеров в удаленных центрах управления и создание специализированных сервисных ИТ компаний для обеспечения удаленного управления позволят организовать не только роботизированную безлюдную добычу полезных ископаемых в труднодоступных регионах, но и решать задачи по оптимизации производства на основе анализа Больших данных, непрерывно поступающих в удаленный центр от автоматизированной системы управления горнотранспортным комплексом (АСУ ГТК) и других систем мониторинга производственных процессов и промышленной безопасности [10]. Также удаленные центры создадут предпосылки для сквозной оптимизации и интеграции цифровых технологий отдельных производственных процессов в целостную систему управления производством на основе платформенных решений с применением методов ИИ, анализа Больших данных, решением задач прогнозной аналитики и машинного обучения (рис. 3).

Разделение функций управления между удаленным центром управления (сервисная управляющая компания), горнодобывающей компанией (головной офис) и горным предприятием может быть следующим: удаленный центр управления – уровень MES; горная компания – ERP; горное предприятие – АСУТП и SCADA.

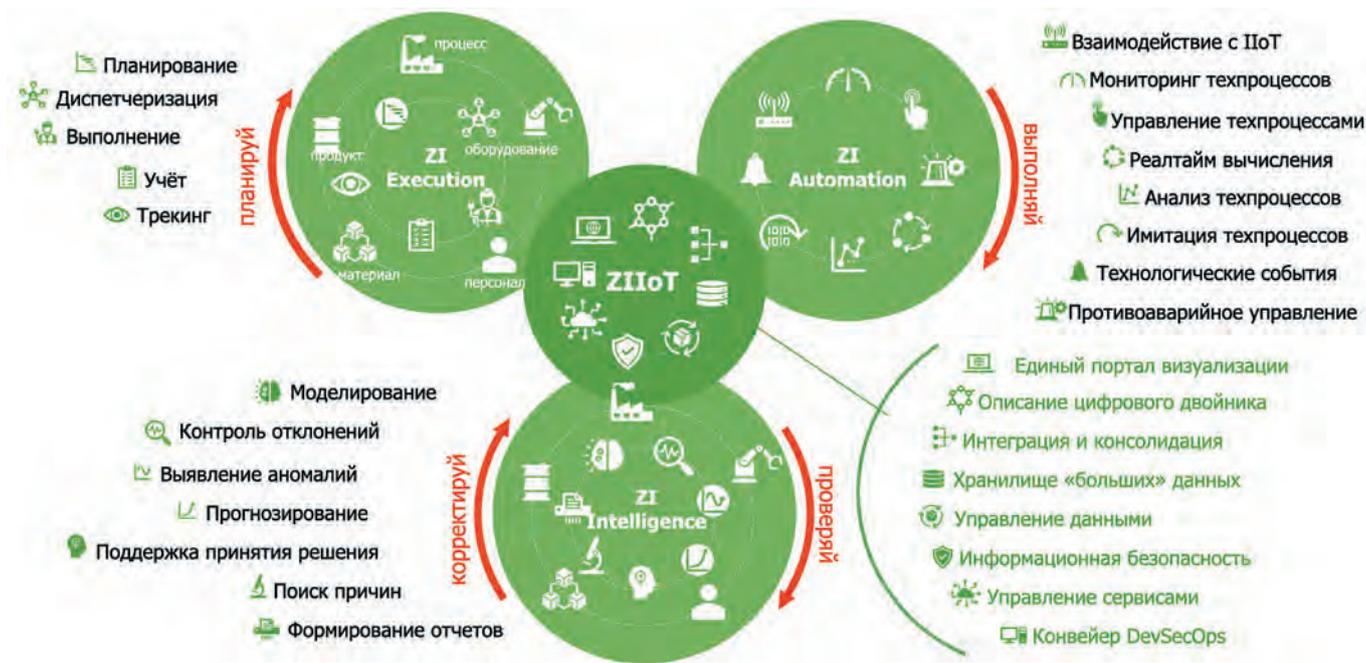


Рис. 4
Цифровая платформа полного цикла управления производством

Fig. 4
Digital platform for end-to-end production management

ГК «Цифра» планирует в ближайшие годы развивать свою цифровую индустриальную платформу ZIIoT для решения задач управления производством (рис. 4). Цифровая индустриальная платформа, интегрирующая процессы управления горнотехническими системами, является решающим фактором в построении и организации удаленных центров управления. Только такая платформенная интеграция и комплексирование цифровых технологий управления полным циклом горного производства позволят существенно повысить его эффективность, обеспечить сквозной контроль и оптимизацию процессов, сбор и хранение данных в единой системе (data-lake). Удаленное управление, сопровождаемое коллективом горных инженеров, управленцев и квалифицированных ИТ специалистов позволит оптимизировать цифровые решения, в том числе и за счет проведения систематического аудита применения всего функционала сквозной оптимизации производственных процессов горного предприятия.

Организация удаленных центров управления на основе платформенных решений с роботизацией и сквозной оптимизацией горного производства решит также проблему поиска рабочих кадров в отдаленных и труднодоступных регионах; удаленные центры, расположенные в крупных городах вблизи научных центров и университетских кампусов, обеспечат приток высококвалифицированных кадров для интеллектуального управления горным производством. Такой комплексный подход делает возможным рассматривать цифровую трансформацию и сопутствующую ей трансформацию бизнеса как значимые факторы повышения эффективности и безопасности добычи и переработки полезных ископаемых. Именно такой подход к проектированию новых и развитию действующих предприятий позволит на современном этапе цифровой и бизнес-трансформации перевести труднодоступные месторождения в разряд рентабельных за счет внедрения комплексных цифровых решений,

а горным предприятиям существенно повысить конкурентоспособность.

Реализация проекта: вызовы и основные этапы

Существует множество причин, которые могут сдерживать создание удаленных центров управления. Перечислим основные:

- новизна для руководителей и акционеров горной компании, связанная с изменением бизнес-процессов; опасение рисков внедрения принципиально новых методов организации производства;
- высокие требования к формализации технологических процессов на месте ведения горных работ, а вместе с ней и повышение прозрачности бизнес-процессов;
- временные затраты, которые потребуются на изменение проекта ведения горных работ;
- организация высокоскоростных и надежных каналов связи.

Поэтому сложно представить, что какая-либо горнодобывающая компания сразу, не имея необходимого опыта, перейдет на удаленное управление и применение роботизированной горной техники. Вероятно, первыми станут наиболее крупные компании, накопившие большой опыт в управлении и цифровизации горного производства. Скорее всего, переход будет поэтапный. Рассмотрим укрупненно основные этапы такого перехода (рис. 5).

На первом этапе необходимо организовать инфраструктуру проекта:

- обеспечить достаточные для реализации проекта каналы связи: возможный вариант – оптоволоконная линия с резервированием. Перспективным способом организации системы беспроводной передачи данных является также применение низкоорбитальных спутниковых систем связи;
- обеспечить полную автоматизацию (оцифровку) основных бизнес-процессов;
- организовать централизованный сбор данных;



Рис. 5
План реализации проекта

Fig. 5
Project implementation plan

– отработать технологии подготовки горнотранспортного оборудования к роботизации для промышленного применения [11]: autonomous ready (на заводах-производителях карьерной техники, новые модели) и «ретрофит» (на действующих промышленных производствах, модели в эксплуатации);

– создать на предприятии инфраструктуру связи для работы АСУ ГТК, автономной и дистанционно-управляемой техники (организация точек доступа и беспроводных каналов связи WiFi, GSM, IoT).

На втором этапе:

– создается удаленный центр управления с переносом в него тех функций управления, которые и сейчас частично централизованы во многих горнодобывающих компаниях и реализованы в виде цифровых технологий: геологическое моделирование (ГИС); стратегическое и среднесрочное планирование горных работ; планирование ТО и ремонтов; планирование буровзрывных работ (БВР); формирование электронных проектов на бурение взрывных скважин и проекта массового взрыва;

– разрабатываются средства для автоматизированного аудита работы АСУ ГТК (диспетчерская служба на первом и втором этапах остается на горном предприятии).

На третьем этапе необходимо:

– обеспечить полный перенос диспетчерской службы в удаленный центр управления. В случае организации удаленного управления на базе вновь создаваемой сервисной компании – это будет означать переход в структуру этой компании диспетчерской службы предприятия, а также перенос функций технического отдела;

– реализовать в удаленном центре управления платформенные цифровые решения для сквозной оптимизации и решения задач полного цикла управления производством;

– организовать независимые удаленные аналитические центры поддержки принятия решений для оптимизации работы горных компаний на базе научных организаций и университетов горного профиля с обеспечением их взаимодействия с удаленными центрами управления и/или непосредственно с горными компаниями.

На четвертом этапе можно переходить к организации дистанционного и роботизированного управления. Для этого необходимо:

– создать и согласовать в надзорных органах изменения в проекте ведения горных работ, предусматривающих новые методы управления;

– сформировать методическое обеспечение: проведение наряда на работы; оперативное управление процессами добычи и транспортировки; правила промышленной безопасности в условиях применения безлюдных технологий;

– предусмотреть реорганизацию и усиление службы ремонта, так как в отсутствие водителей данная служба должна выполнять периодическое обслуживание и первичную диагностику, обычно выполняемую водителем;

– организовать рабочие места операторов автономной техники и дистанционно-управляемой техники (РМО) в удаленном центре управления;

– определить минимальный состав ИТР и служб, которые остаются на горном предприятии, а также их функции и регламент работы;

– увеличить на горном предприятии парк дорожно-строительной техники, так как повышаются требования к состоянию дорог при работе роботизированных самосвалов.

Если рассматривать управление горной компанией с точки зрения классического цикла Деминга (планирование, выполнение, проверка, корректировка), то на первых этапах создаются инфраструктура и технологические условия для удаленного управления техникой и горными работами; в удаленный центр переносятся последовательно процессы планирования (стратегическое, среднесрочное, декадное, суточное); проверки и корректировки (диспетчеризация, мониторинг, контроль); а на последнем этапе – разрабатывается методическое и нормативное обеспечение для ведения горных работ с применением роботизированной техники и реализуется «выполнение» – переход к дистанционному управлению и безлюдным технологиям добычи полезных ископаемых.

Конечно, разделение проекта организации удаленного центра управления на этапы весьма условно: при подготовке дорожной карты перечисленные этапы можно разбить на подэтапы, а задачи различных этапов могут стартовать одновременно – их начало никак не связано с завершением предшествующих задач. Такой задачей или этапом является организация удаленных аналитических центров поддержки принятия решений для оптимизации работы горных компаний на базе научных организаций и университетов горного профиля (рис. 6). Остановимся подробнее на этой задаче.



Рис. 6
Взаимодействие научных организаций и университетов горного профиля с удаленными центрами управления и горными предприятиями

Fig. 6
Interaction of research organizations and Universities of mining specialization with Remote Control Centers and mining operations

Удаленные аналитические центры поддержки принятия решений и трансформация высшего образования

Горная наука может оказать существенную помощь в организации удаленных центров управления в части методического обоснования перехода к удаленному управлению интеллектуальным горным предприятием; трехмерного моделирования; решения оптимизационных задач и анализа Больших данных; применения методов ИИ для управления автономной горной техникой; создания цифровых двойников и цифровых советчиков процессов горного производства [12]. В ИПКОН РАН при поддержке гранта Российского научного фонда разрабатываются методические подходы к стандартизации сбора, хранения и анализа данных при управлении горнотехническими системами [13]. Эта работа может составить основу для реализации удаленного управления горным предприятием.

В свою очередь, трансформация высшего образования [14] приведет в недалеком будущем к созданию университетов с исследовательскими лабораториями, центрами разработки, производственными площадками и тесными связями с индустриальными компаниями. Такие университеты – центры компетенций, сохраняя базовые приоритеты образовательного процесса, будут делать ставку на совместную (с горными и производственными компаниями) разработку инновационных продуктов и сервисных услуг, которые будут включаться в учебный процесс и одновременно реализовываться в промышленных внедрениях [15]. Учеба в университетах – центрах компетенций позволит организовать массовую подготовку квалифицированных междисциплинарных инженерных кадров, способных реализовать цифровую трансформацию промышленных предприятий, и это позволит существенно сократить дефицит персонала, обладающего опережающими компетенциями в области цифровых технологий, отмечаемый в настоящее время [8].

Для развития высшего образования требуются также новые подходы к организационному и политическому управлению, кадровому обеспечению университетов, системам оценки профессиональных знаний, формированию новых профессиональных стандартов, образовательных систем с улучшенным научным обеспечением подготовки кадров. Предлагаемая организация удаленных аналитических центров на базе университетов позволяет развивать исследовательские компетенции и технологическую базу для эффективного внедрения цифровых технологий в технологическую цепочку операций жизненного цикла освоения полезных ископаемых (поиск, разведка, добыча, транспортировка, переработка и получение продукта непосредственного потребления).

Правительство РФ определило сроки перехода значимой критической информационной инфраструктуры (КИИ), к которой относятся цифровые технологии в МСК и ТЭК, на отечественные решения. Отмечается, что для реализации скорейшего перехода КИИ на отечественные цифровые технологии необходимо кратно нарастить за ближайшие 3–5 лет выпуск инженеров по автоматизации и роботизации производства. Для этого будут активно привлекаться производственные компании к участию в обучении по междисциплинарным направлениям в университетах, и это станет обязательным условием для предоставления им льгот. Все эти решения создают ис-



Рис. 7
«Цифровое горное производство» – лаборатория ГК «Цифра» в СПбГУ

Fig. 7
The Digital Mining Production Laboratory of the Zyfra Group at the Empress Catherine II St. Petersburg Mining University

ключительно благоприятную почву для ускорения консолидации университетов и производственных корпораций.

Отметим также, что одной из основных проблем создания качественной подготовки в горнодобывающей промышленности является адаптация знаний к быстро меняющимся технологиям. Во всем мире горнодобывающая промышленность сталкивается с многомерными, часто взаимосвязанными вызовами с очень сложными сочетаниями технических, экономических, экологических, управленческих и социальных факторов. Высококачественная подготовка будущих междисциплинарных инженеров в области цифровой трансформации горного производства должна учитывать все эти факторы.

ГК «Цифра» реализует программу работы с университетами, и одним из главных партнеров в этом направлении является Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II (СПбГУ). Санкт-Петербургский горный университет является одним из лидеров трансформации горнотехнического образования. В университете созданы лаборатории и центры компетенций ведущих промышленных горных, нефтегазовых, машиностроительных и промышленных компаний. В лаборатории ГК «Цифра» «Цифровое горное производство», входящей в центр компетенции «БЕЛАЗ» (рис. 7), развернута программно-аппаратная инфраструктура для обучения студентов методам оперативного управления горными работами: сервер АСУ ГТК и цифровой платформы IIoT; РМО автономного и дистанционного управления горной техникой; АРМ диспетчеров; видеостена; стенд-эмулятор программно-аппаратных комплексов цифрового автосамосвала. Такая конфигурация программно-аппаратных средств может стать прообразом аналитического центра удаленного управления ГТК и поддержки принятия решений для оптимизации работы горных предприятий. Подобные дистанционные аналитические центры управления уже успешно функционируют в мире. Например, компания Ramjack Technology Solution (ЮАР) подключается удаленно к системам диспетчеризации, автоматизации и мониторинга в режиме реального времени на нескольких африканских горных предприятиях, анализирует тренды и оптимизирует использование оборуду-



Рис. 8
Источники получения данных

Fig. 8
Sources of data acquisition

дования, улучшает производственные показатели¹. Это дает реальное сокращение затрат и повышение производственной безопасности.

Организацию работы удаленного аналитического центра поддержки принятия решений планируется начать с подключения сервера лаборатории к АСУ ГТК «КАРЬЕР» на одном из предприятий компании ЕВРАЗ. Непрерывно поступающие в удаленный аналитический центр данные о горнотехнической системе (эксплуатационных и диагностических параметрах оборудования; окружающей среде и персонале) могут использоваться для их всестороннего анализа, построения прогнозных моделей и оптимизации производства (рис. 8). В удаленном аналитическом центре можно будет анализировать комплексно факторы *производительности, энергетической эффективности и производственной безопасности* [16; 17]:

- скорость движения автосамосвалов (важнейший показатель производительности), расход топлива и шин в зависимости от плеча откатки, времени суток, смены, погоды, загрузки, простоев, мелких остановок, рельефа, количества самосвалов на маршруте;
- зависимость производительности экскаваторов от различных факторов;
- время циклов работы экскаватора;
- недогрузки и перегрузы автосамосвалов;
- гранулометрический состав взорванной горной массы в зависимости от параметров БВР;
- случаи отвлечения и засыпания водителей, опасные сближения горной техники и горнорабочих; давление и температуру в шинах; нарушения скоростных режимов и технического состояния горной техники; качество вождения и состояние технологических дорог и пр.;
- поломки и простои горной техники в зависимости от диагностических и эксплуатационных параметров, фиксируемых дистанционно в АСУ ГТК;
- показатели устойчивости бортов карьера по данным геомониторинга в зависимости от горно-геологических и горнотехнических факторов.

Задачи оптимизации и построения прогнозных моделей могут быть решены с применением различных методов анализа Больших данных:

- методы DataMining (кластерный, многофакторный, регрессионный и компонентный анализы);
- методы машинного обучения (ML);
- использование искусственных нейронных сетей;
- пространственный анализ и визуализация данных и др.

Эти научно-практические разработки на основе анализа Больших данных планируется проводить в удаленном аналитическом центре СПбГУ, что позволит решать задачи подготовки высококвалифицированных кадров с использованием реальных практик автоматизации горных работ, а также выполнять исследования по заказам горных компаний в целях оптимизации их производственной деятельности.

От аналитики работы ГТК в удаленном аналитическом центре постепенно можно будет перейти (во взаимодействии и разделении функций с удаленным центром управления горным предприятием и головным офисом горной компании) к анализу всего комплекса процессов управления горным производством, то есть мероприятий, направленных на обеспечение бесперебойной, эффективной и безопасной работы предприятия, и оптимизации:

- портфеля заказов на продукцию предприятия в зависимости от стратегии долгосрочной работы предприятия и состояния рынка;
- плана развития горных работ, увязанного с портфелем заказов;
- объемов производства проектных работ (ППР) и закупок новой техники взамен убывающей, увязанных с планом развития горных работ, плановыми объемами по добыче, вскрыше и перевозкам;
- закупок запасных частей и материалов для выполнения горных работ, ремонтов и технического обслуживания;
- обеспеченности персоналом, включая подготовку и мотивацию квалифицированных специалистов;
- затрат на экологию и охрану труда;
- финансовой деятельности.

Цифровой двойник процесса управления ГТК

Одним из необходимых условий выполнения аналитической работы по коррекции планов горных работ на основе анализа данных мониторинга является разработка цифрового двойника процесса управления горнотранспортным комплексом – эмулятора АСУ ГТК «КАРЬЕР». Эмулятор позволит одновременно организовать учебный процесс при подготовке специалистов по направлению переподготовки «Цифровое горное производство». Кратко опишем концепцию разработки такого эмулятора (цифрового двойника) – важнейшего элемента организации работ в удаленном аналитическом центре. В качестве исходных данных при разработке цифрового двойника АСУ ГТК необходимо взять положение горных работ, расстановку техники, склады разгрузки автотранспорта, историю движения самосвалов и работы экскаваторов за смену. Простейший эмулятор – это проигрывание фактической работы ГТК с визуализацией и обработкой данных телеметрии. Реализация в цифровом двойнике функционала АСУ ГТК позволит научить студентов тому, как формируется наряд на смену:

- доступность техники;
- доступность персонала;
- паспорт загрузки автосамосвалов;
- плановые показатели работы экскаваторов;

¹ Re-inventing the future of mining through purpose-built technology solutions. Available at: www.ramjacktech.com (accessed: 27.05.2024).

- распределение автосамосвалов по маршрутам;
- ввод остатков и качества по складам.

Также будет возможно научить студентов элементам управления качеством руды на уровне планирования смены, показывая, как будет идти процесс работы в смене, запуская в заданном темпе обработку записанной телеметрии. Эти навыки помогут и в консалтинговой работе по оптимизации горных работ, проводимой удаленным аналитическим центром:

- формирование текстового файла из системы геологического моделирования, содержащей качество по блочной модели, упрощенной до уровня сеточной модели;
- импорт контуров работы экскаваторов из системы планирования горных работ или построение контуров в АСУ ГТК. Подсчет среднего качества по экскаваторам на смену и прогноз качества на складах в течение смены.

Цифровой двойник АСУ ГТК будет применим и в исследовательских проектах удаленного аналитического центра для поиска оптимальных планов работы горного предприятия; определения сменных заданий операторам и водителям горной техники; оптимизации парка горной техники в зависимости от производственных планов; решения комплекса задач управления качеством и сквозной оптимизации горных работ и др.

Выводы

В заключение следует отметить, что организация удаленных центров управления горным предприятием является на сегодняшний день амбициозной, сложной, но реально осуществимой научной и организационно-технической задачей. Этот проект формирует партнерскую экосистему производственных, надзорных, проектных, научных, образовательных организаций горного профиля и ИТ компаний – разработчиков и интеграторов цифровых горных технологий, на базе которых могут в перспективе создаваться сервисные управляющие компании для удаленного управления интеллектуальным горным предприятием (рис. 9).

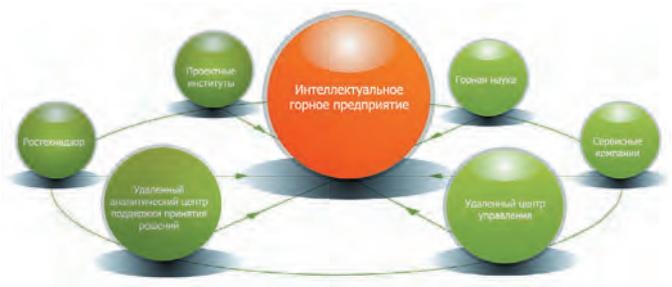


Рис. 9
Сбалансированная экосистема

Fig. 9
Balanced ecosystem

На первых этапах создаются инфраструктура и технологические условия для удаленного управления техникой и горными работами; далее в созданный удаленный центр переносятся последовательно функции планирования, мониторинга, контроля и диспетчеризации; разрабатывается методическое и нормативное обеспечение для ведения горных работ с применением роботизированной техники и реализуется переход к дистанционному управлению и роботизированным технологиям добычи полезных ископаемых.

Необходимым условием для успешной реализации проекта является разработка цифровых платформенных решений для интеграции, сквозной оптимизации, контроля и мониторинга процессов горного производства; централизованного сбора и анализа данных.

Создание удаленных аналитических центров поддержки принятия решений на базе ведущих научных организаций и горных университетов является одним из этапов организации удаленных центров управления. Создание таких центров будет способствовать подготовке квалифицированных научных сотрудников, горных инженеров и ускорит процессы трансформации высшего образования России.

Список литературы / References

1. Трубецкой К.Н., Рыльникова М.В. Состояние и перспективы развития открытых горных работ в XXI веке. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(S1-1):21–31. Trubetskoy K.N., Rylnikova M.V. Situation and prospects of open-pit mining development in the XXI century. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2015;(S1-1):21–31. (In Russ.)
2. Мацко Н.А. Опыт и перспективы использования цифровых технологий в добывающих отраслях. *Имущественные отношения в Российской Федерации*. 2020;(6):7–13. <https://doi.org/10.24411/2072-4098-2020-10601> Matsko N.A. Experience and prospects for the use of digital technologies in extractive industries. *Property Relations in the Russian Federation*. 2020;(6):7–13. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2072-4098-2020-10601>
3. Мацко Н.А. Опыт и перспективы использования цифровых технологий в добывающих отраслях. *Имущественные отношения в Российской Федерации*. 2020;(6):7–13. <https://doi.org/10.24411/2072-4098-2020-10601> Matsko N.A. Experience and prospects for the use of digital technologies in extractive industries. *Property Relations in the Russian Federation*. 2020;(6):7–13. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2072-4098-2020-10601>
4. Tsvetkov P., Andreichyk A., Kosarev O. The impact of economic development of primary and secondary industries on national CO₂ emissions: The case of Russian regions. *Journal of Environmental Management*. 2024;351:119881. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119881>
5. Жуковский Ю.Л., Семенюк А.В., Алиева Л.З., Арапова Е.Г. Цифровые платформы на основе блокчейна для снижения углеродного следа горнодобывающей промышленности. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(6-1):361–378. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_361 Zhukovskiy Y.L., Semenyuk A.V., Alieva L.Z., Arapova E.G. Blockchain-based digital platforms to reduce the carbon footprint of mining. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(6-1):361–378. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_361
6. Клебанов А.Ф. Цифровая трансформация горнодобывающих предприятий: модная фразеология или объективная необходимость? В кн.: Трубецкой К.Н. (ред.) *Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр: материалы 3-й Междунар. научной школы академика К.Н. Трубецкого, г. Москва, 25–29 июня 2018 г.* М.: ИПКОН РАН; 2018. С. 61–64.

7. Клебанов А.Ф. Автоматизация и роботизация открытых горных работ: опыт цифровой трансформации. *Горная промышленность*. 2020(1):8–11.
Klebanov A.F. Automation and robotization in opencast mining: experience in digital transformation. *Russian Mining Industry*. 2020(1):8–11. (In Russ.)
8. Натрусов Н., Садардинов И., Емельченков С. Цифровизация горно-металлургической отрасли России в 2024 году: презентация. Апрель, 2024. Режим доступа: https://www.yp.partners/upload/iblock/67c/cjwhz656wjsfn0up1ze8ka8qg7uxrpm8/20240423_Digital_mining.pdf (дата обращения: 06.05.2024).
9. Koteleva N., Valnev V. Automatic detection of maintenance scenarios for equipment and control systems in industry. *Applied Sciences*. 2023;13(24):12997. <https://doi.org/10.3390/app132412997>
10. 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>
11. 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>
12. Litvinenko V.S. Digital economy as a factor in the technological development of the mineral sector. *Natural Resources Research*. 2020;29(3):1521–1541. <https://doi.org/10.1007/s11053-019-09568-4>
13. Захаров В.Н., Каплунов Д.Р., Клебанов Д.А., Радченко Д.Н. Методические подходы к стандартизации сбора, хранения и анализа данных при управлении горнотехническими системами. *Горный журнал*. 2022;(12):55–61. <https://doi.org/10.17580/gzh.2022.12.10>
Zakharov V.N., Kaplunov D.R., Klebanov D.A., Radchenko D.N. Methodical approaches to standardization of data acquisition, storage and analysis in management of geotechnical systems. *Gornyi Zhurnal*. 2022;(12):55–61. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2022.12.10>
14. Вавилов В. Стратегия развития российских университетов должна измениться. *Российская газета Спецвыпуск: Устойчивое развитие*. 2023, 24 апреля. Режим доступа: <https://rg.ru/2023/04/25/reg-pfo/korporaciia-znaniy.html> (дата обращения: 06.05.2024).
15. Литвиненко В.С., Петров Е.И., Василевская Д.В., Яковенко А.В., Наумов И.А., Ратников М.А. Оценка роли государства в управлении минеральными ресурсами. *Записки Горного института*. 2023;259:95–111. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.100>
Litvinenko V.S., Petrov E.I., Vasilevskaya D.V., Yakovenko A.V., Naumov I.A., Ratnikov M.A. Assessment of the role of the state in the management of mineral resources. *Journal of Mining Institute*. 2023;259:95–111. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.100>
16. Рыльникова М.В., Клебанов Д.А., Князькин Е.А. Анализ данных как основа повышения эффективности работы горнотранспортного оборудования при ведении открытых горных работ. *Горная промышленность*. 2023;(1):52–56. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-1-52-56>
Rylnikova M.V., Klebanov D.A., Knyazkin E.A. Data analysis as a basis for improving the efficiency of mining equipment in open pit operations. *Russian Mining Industry*. 2023;(1):52–56. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-1-52-56>
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>

Информация об авторах

Клебанов Алексей Феликсович – кандидат технических наук, директор по науке и работе с образовательными учреждениями, Группа компаний «Цифра», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: aleksey.klebanov@zyfra.com

Бондаренко Александр Владимирович – генеральный директор, ООО «Цифровые технологии производства», г. Кемерово, Российская Федерация

Жуковский Юрий Леонидович – доктор технических наук, директор института развития междисциплинарных компетенций, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Клебанов Дмитрий Алексеевич – кандидат технических наук, зав. лабораторией интеллектуальных систем и цифровых технологий, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: Klebanov_d@ipkonran.ru

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

Aleksandr V. Bondarenko – Director General, Digital Production Technologies LLC, Kemerovo, Russian Federation

Yury L. Zhukovsky – Dr. Sci. (Eng.), Director, Institute for Development of Interdisciplinary Competencies, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

Dmitry A. Klebanov – Cand. Sci. (Eng.), Head of Laboratory of Intelligent Systems and Digital Technologies, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; e-mail: Klebanov_d@ipkonran.ru

Article info

Received: 19.05.2024

Revised: 09.07.2024

Accepted: 16.07.2024

Информация о статье

Поступила в редакцию: 19.05.2024

Поступила после рецензирования: 09.07.2024

Принята к публикации: 16.07.2024



С ДНЁМ ШАХТЁРА!

Группа ЭВОБЛАСТ
www.evoblast.ru



ЭВОБЛАСТ®

ДВИЖЕМ ЭВОЛЮЦИЮ ГОРНЫХ РАБОТ



16+

РЕКЛАМА



ГОРНАЯ ТЕХНИКА

Экскаваторы - объем ковша до 12м³
Самосвалы - г/п до 236 тонн
Бульдозеры - вес до 100 тонн

СИТ

СТРОЙИМПОРТТЕХНИКА

16+

РЕКЛАМА



SHANTUI-SIT.RU

8 800 700-33-86