

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный горный университет»



Кафедра горного дела



**ХII Международная научно-техническая конференция
«ИННОВАЦИОННЫЕ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ
РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ»**

6–7 апреля 2023 г.
Сборник докладов

Ответственный за выпуск
доктор технических наук, профессор Н. Г. Валиев

Екатеринбург – 2023

М 44

Председатель оргкомитета:

Валиев Н. Г. – зав. кафедрой горного дела УГГУ, д-р техн. наук, профессор.

Председатель Программного комитета:

Яковлев В. Л. – член-корр. РАН, советник РАН, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник ИГД УрО РАН.

Сопредседатели:

Соколов И. В. – директор ИГД УрО РАН, д-р техн. наук.

Лель Ю. И. – зав. каф. разработки месторождений открытым способом УГГУ, д-р техн. наук, профессор.

Пропп В. Д. – зам. зав. каф. горного дела УГГУ, канд. техн. наук, профессор.

Волков М. Н. – зав. каф. шахтного строительства УГГУ, канд. техн. наук, доцент, декан горно-технологического факультета.

Оргкомитет:

Демин В. Ф. – проф. каф. «Разработка МПИ» КарГТУ (Республ. Казахстан), д-р техн. наук.

Заворницын В. В. – нач. Управления развития и реализации инвест. проектов горно-рудных предприятий ОАО «УГМК».

Набиуллин Ф. М. – генеральный директор ООО «Березовский рудник».

Жээналиев М. С. – генеральный директор ООО «Куранды Девелопинг» (Киргизская Республика).

Колесников А. А. – главный инженер АО «Сибирь-Полиметаллы».

Салахиев Р. Г. – главный инженер ПАО «Ураласбест».

Здоровец И. Л. – главный инженер артели старателей «Нейва».

Арефьев С. А. – доц. кафедры горного дела УГГУ, канд. техн. наук, доцент.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Уральского государственного горного университета

Оргкомитет не несет ответственности за содержание опубликованных материалов.

Эта книга или ее часть не могут быть воспроизведены в любой форме без письменного разрешения издателей.

М 44

ХII Международная научно-техническая конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений», г. Екатеринбург, 6-7 апреля 2023 г. (Уральская горнопромышленная декада, г. Екатеринбург, 3-12 апреля 2023 г.):

сборник докладов / Оргкомитет: Н. Г. Валиев (отв. за выпуск) и др.; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2023. – 238 с.

Доклады ХII Международной научно-технической конференции «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений» в рамках Уральской горнопромышленной декады в Уральском государственном горном университете посвящены обсуждению результатов фундаментальных и прикладных исследований по проблемам наук о Земле, вопросам, связанным с использованием компьютерных технологий в горном деле, внедрению новых методов геометризации и прогнозирования состояния геологической среды, повышению уровня подготовки горных инженеров.

Публикуемые материалы могут представлять интерес для студентов, аспирантов, профессорско-преподавательского состава вузов, реализующих программы высшего профессионального образования в области горного дела, а также для специалистов науки и производства горнопромышленного комплекса.

© Уральский государственный горный университет, 2023

© Авторы, постатейно, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПОДЗЕМНАЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

Валиев Н. Г., Пропп В. Д., Беркович В. Х., Колесников А. А., Шохов С. О. О промежуточных результатах испытаний новой геотехнологии подземной разработки полиметаллических руд.....	6
Вандышев А. М., Потапов В. В., Тюлькин В. П. Выбор местоположения полевых и слоевых выработок при разработке мощных пластов.....	12
Валиев Н. Г., Беркович В. Х., Пропп В. Д., Шохов С. О., Старцев В. А. Использование энергии взрыва для повышения эффективности применения камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства.....	19
Вандышев А. М., Потапов В. В. Отработка угольных пластов с упрочнением пород растворами смол.....	22
Валиев Н. Г., Петров В. П., Хуснуллин Д. Р. Перспективы использования расплава горной породы как нового способа крепления горных выработок.....	27
Баизбаев М. Б., Нұртай Ж. Т., Абдиева Л. М., Есенбекова А. Т. Влияние техногенных факторов на эффективную комбинированную разработку рудных месторождений.....	31
Волков М. Н., Потапов В. Я., Потапов В. В. Поддержание горных выработок двухшарнирными рамно-анкерными креплениями.....	35
Валиев Н. Г., Шнайдер И. В., Абдрахманов М. И., Патрушев Ю. В. Опыт применения системы сейсмического зондирования в решении задач оценки структуры и свойств горного массива при ведении подземных горных работ.....	41
Бекмагамбетов А. Б., Баизбаев М. Б. Характер, масштабы опасности и технические решения по обеспечению безопасности месторождения Жайсан.....	46
Антонов Л. А. Совершенствование технологии ведения набрызгбетонных работ в условиях подземных горных выработок.....	49
Томилов А. Д. Зависимость производительности добычи от срока твердения закладочной смеси в условиях небольшого размера рудного поля.....	53

ОТКРЫТАЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

Яковлев В. Л. Методологические основы стратегии инновационных технологий комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых.....	60
Берсенев Г. П., Реготунов А. С., Жариков С. Н., Кутуев В. А. Анализ хронологических этапов внедрения технических решений при технологическом развитии буровзрывных работ на карьерах Уральского региона.....	68
Пьянзин С. Р., Лель Ю. И., Ефремов Г. Е., Москвитин Д. В. Опыт применения электронной системы инициирования зарядов в условиях «Полюс Вернинское».....	74
Жариков С. Н., Кутуев В. А. Разработка экспресс-метода определения параметров контурного взрывания на основе изучения взаимодействия соседних зарядов при ведении взрывных работ на карьерах.....	80

Мамаева М. С. Горюнов С. В. Хорешок А. А. Моделирование процессов налипания и намерзания горной массы на рабочее оборудование экскаваторов.....	87
Сандригайло И. Н., Арефьев С. А., Кузнецов А. М., Хузина А. Ф. Комплексы оборудования, производимого в России, для разработки месторождений с малыми запасами.....	94
Васильева Л. А., Жариков С. Н., Кутуев В. А. Краткий обзор влияния трещиноватости на качество дробления горных пород и законтурный массив при производстве взрывных работ в условиях карьеров.....	100
Чебан А. Ю. Уменьшение пыления при добыче угля за счет совершенствования выемочного оборудования.....	105
Уруймагов А. С. Перспективы использования гидравлических экскаваторов на карьерах Сибири.....	110
Коростовенко В. В., Медведь Н. В., Егорова Е. Л., Морозов В. Н. О применении матрицы полезностей для расчета оптимальной глубины вскрыши торфов.....	116
Саидов М. К., Рахматов А. А. Классификация техногенных месторождений, основные категории и понятия.....	120

ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Потапов В. Я., Потапов В. В. Использование вторичного характеристического рентгеновского излучения для идентификации углей.....	124
Пиирайнен В. Ю., Баринков В. М. Использование бокситового остатка в качестве компонента железорудной шихты.....	130
Власов И. А., Петрова Д. А. Применение возможностей атомно-эмиссионного комплекса «Гранд-Поток» в технологической минералогии на примере определения связи золота с теллуrom.....	137

ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Угольников А. В., Потапов В. Я., Юркова Е. И., Парамонова А. А., Угольникова А. Е. Оценка экономического эффекта от внедрения винтовых компрессоров на шахте.....	142
Смирнов В. А., Захаров М. Ю., Бочков В. С. Автоматизированный контроль изнашивания футеровки конусной дробилки.....	145
Юсупов Т. И., Угольников А. В. Кавитация как одна из причин износа шахтных насосов.....	148

ГЕОМЕХАНИКА

Кологривко А. А., Кузьмич В. А. Прочностные характеристики шламовых грунтов....	152
Белоногова В. А., Котенков А. В. Обоснование возможности снижения прочности несущего слоя закладочной смеси при изменении процесса организации закладочных работ.....	157
Баринкова А. А., Пиирайнен В. Ю. Поиск способов рационального использования бокситового остатка.....	164

Тетерев Н. А., Валиев Н. Г., Ермолаев А. И., Майнингер В. А. Влияние прочностных свойств колчеданных руд на их взрывоопасность170

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Анистратов К. Ю., Васильева М. О. Принципы формирования цифровой системы управления производством горнодобывающего предприятия173

Тимохин А. В., Яковлев А. М., Титов Р. С., Кантемиров В. Д. Цифровая трансформация петрофизической оценки твердоминеральных ископаемых Урала. Цифровые двойники: сигнальные прототипы и верификации будущего181

Бабич В. Н., Шангина Е. И., Сиразутдинова Н. Б. Аспекты информационной составляющей инженерного моделирования190

Лаптёнок С. А., Ся Вэй, Кологривко А. А. Родькин О. И. Сетевое пространственное моделирование средствами географических информационных систем в городе Цинхуангдао (Китайская Народная Республика)197

Шевляков Е. В., Русских И. Л., Сидорук М. Р. Выбор оптимального варианта отработки месторождения при планировании в современном программном комплексе205

Кульминский А. А., Шевляков Е. В. Использование современного программного обеспечения при краткосрочном планировании подземных горных работ212

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

Мирсаидова Ф. А. Улучшение санитарного состояния атмосферы глубоких карьеров 217

Назарматов А. А. Некоторые вопросы управления развитием горнорудных предприятий221

Савина Т. Е. Геометрические методы исследования свойств нефтесорбента224

Лебедев Ю. В., Стихин А. А. Принципы управления недропользованием в мировой науке и их использование в условиях России230

УДК 622.272

О ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ИСПЫТАНИЙ НОВОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД

ВАЛИЕВ Н. Г.¹, ПРОПП В. Д.¹, БЕРКОВИЧ В. Х.¹, КОЛЕСНИКОВ А. А.², ШОХОВ С. О.¹

¹Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

²АО «Сибирь-Полиметаллы», пос. Потеряевка, Рубцовский район, Алтайский край

Аннотация. Статья содержит результаты промежуточных испытаний камерной системы разработки с уменьшенными конструктивными параметрами и закладкой выработанного пространства при подземной разработке полиметаллических руд Корбалихинского месторождения, расположенного в Западной Сибири на юге Алтайского края в 30 км от гор. Рубцовска.

Ключевые слова: подземная разработка, производственная мощность, опытно-промышленные испытания, система разработки, конструктивные параметры, геомеханическое обоснование, закладка твердеющей смесью, нисходящий порядок отработки.

ON INTERIM TEST RESULTS OF A NEW GEOTECHNOLOGY FOR UNDER- GROUND MINING OF POLYMETALLIC ORES

VALIEV N. G.¹, PROPP V. D.¹, BERKOVICH V. H.¹, KOLESNIKOV A. A.², SHOKHOV S. O.¹

¹Ural State Mining University, Ekaterinburg

²JSC "Siberia-Polymetals", village Poteryaevka, Rubtsovsk district, Altai region

Abstract. The article contains the results of intermediate tests of a chamber development system with reduced design parameters and the laying of the developed space during underground mining of polymetallic ores of the Korbalikhinsky deposit located in Western Siberia in the south of the Altai Territory, 30 km from the Rubtsovsk mountains.

Keywords: underground mining, production capacity, pilot tests, development system, design parameters, geomechanical justification, laying with a hardening mixture, descending order of development.

Испытания новой геотехнологии подземной разработки полиметаллических руд осуществлялись на Корбалихинском руднике АО «Сибирь-Полиметаллы» в рамках научных исследований по одной из хоздоговорных работ, проводимых кафедрой горного дела горного университета [1].

Корбалихинский рудник АО «Сибирь-Полиметаллы», входящий в группу предприятий ОАО «УГМК», разрабатывает уникальное месторождение полиметаллических руд с промышленным содержанием меди, цинка и свинца и находится в Западной Сибири на юге Алтайского края в 30 км от гор. Рубцовска.

Рудные тела и вмещающие породы (рис. 1), характеризующиеся высокой нарушенностью (блочность массива в среднем составляет 10 см), низкой устойчивостью рудного и породного массивов, имеют ленто-, пласто- и линзообразные формы и залегают на глубинах от 200 до 1250 м. Мощность рудных тел колеблется в широком диапазоне от 2 до 50–60 м, средний угол падения составляет 55–60°. Около 80 % балансовых запасов расположено на глубине более 400 м.

Вскрытие месторождения разделено на два этапа: на первом этапе вскрытие осуществляется двумя наклонными съездами – транспортным и вентиляционным, на втором – скипо-клетьевым стволом и квершлагами различного назначения.

Производительность Корбалихинского рудника в настоящее время составляет 400 тыс. т руды в год. Применяемая на руднике система разработки горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства предусматривает добычу руды с помощью проходки очистных выработок сечением 16 м² (4 × 4 м). Низкая производительность труда, большой объем подготовительно-нарезных работ (ПНР) и высокая себестоимость добычи руды, не позволяют увеличить производственную мощность рудника.

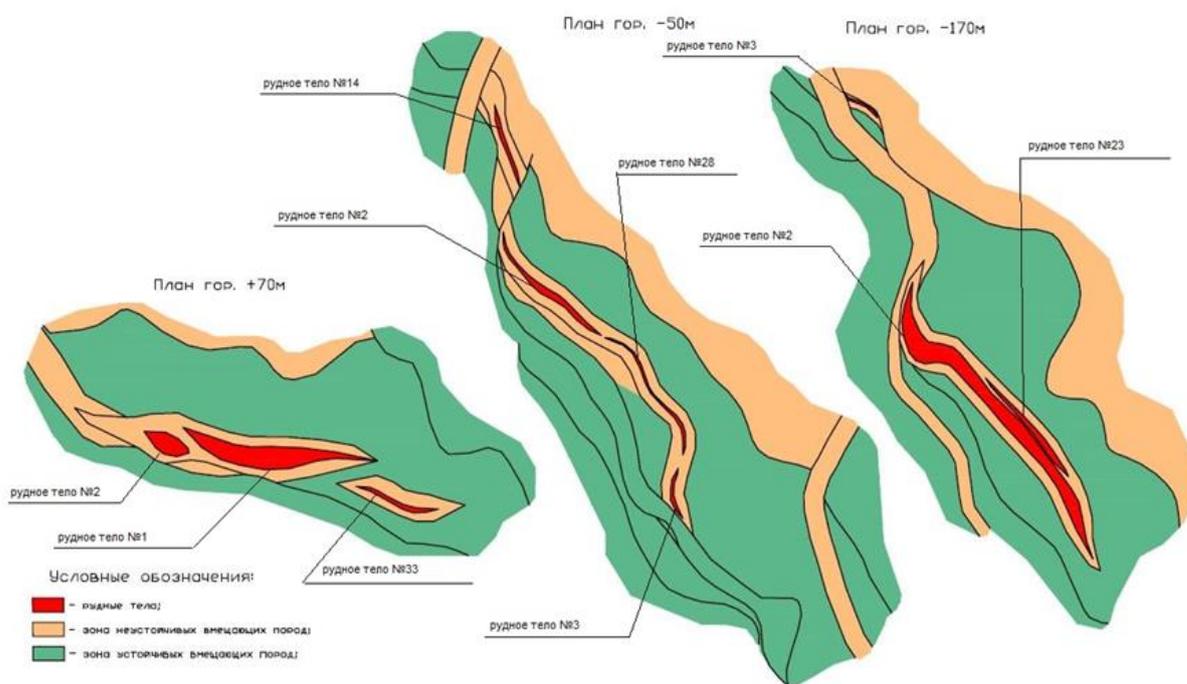


Рис. 1. Характерные формы залегания рудных тел Корбалихинского месторождения

В связи с динамичным развитием АО «Сибирь-Полиметаллы» руководством предприятия была поставлена амбициозная задача найти способы увеличения производственной мощности рудника до 1,5 млн т до 2025 г. путем перехода на применение современных геотехнологий.

Сложные горно-геологические и горнотехнические условия месторождения не позволяют эффективно применять одну какую-либо систему разработки. Для участков с большой мощностью институтом «Уралмеханобр» разработана технология выемки руды с ромбовидными камерами и твердеющей закладкой выработанного пространства. Но есть значительные площади месторождения, которые для применения этой технологии не пригодны. Об этом убедительно доказывает карта с районированием рудного поля на участки с отличающимися горно-геологическими и горнотехническими условиями (рис. 2), где зеленым цветом показаны участки со средней мощностью 9 м и средним углом падения рудных тел 45 град.

Именно для этих условий нами предложены технологические решения, которые предполагают альтернативные, безопасные и пригодные для отработки запасов Корбалихинского месторождения системы разработки:

- система подэтажного обрушения с торцовым выпуском руды;
- камерная система с уменьшенными конструктивными параметрами и закладкой выработанного пространства;
- сплошная камерная система разработки с отбойкой на закладочный массив;
- многостадийная система разработки с закладкой выработанного пространства.

Порядок отработки для всех вариантов – нисходящий, что позволяет поэтапно подготавливать запасы блока. Для каждого из вариантов выполнено геомеханическое обоснование параметров, разработаны технологические схемы ведения работ (ПНР, очистные работы, погашение выработанного пространства, схемы проветривания забоев).

Основные технологические показатели систем, представлены в табл. 1.

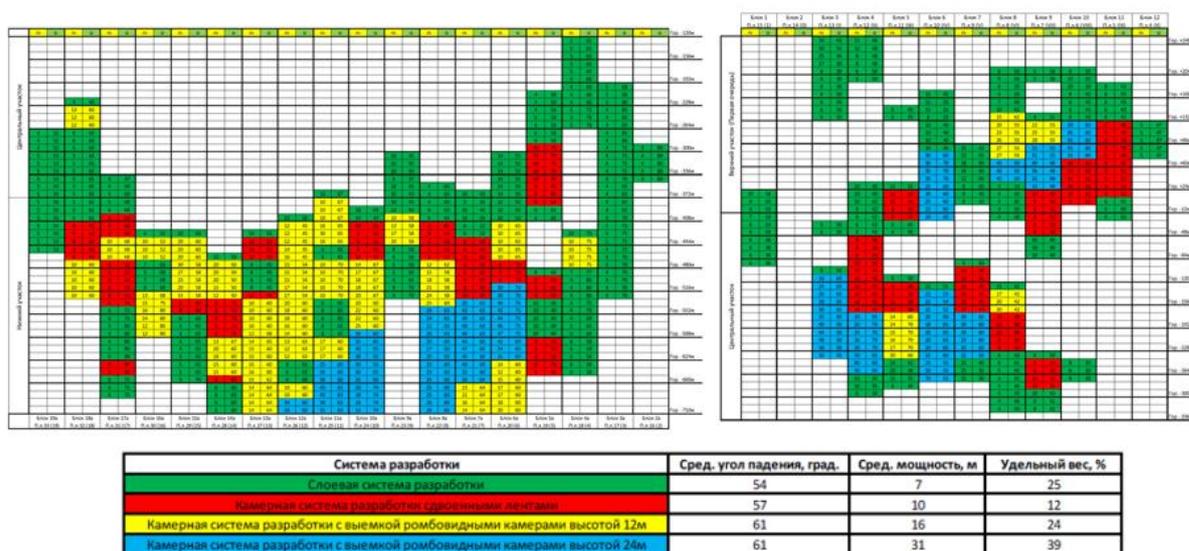


Рис. 2. Схема разбивки рудного поля (районирование) для применения различных систем разработки

Сравнение систем разработки проведено с базовым вариантом слоевой системы разработки горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства, используемой в настоящее время на руднике.

Экономическая оценка эффективности систем разработки позволила сделать вывод о том, что по уровню условной прибыли вариант камерной системы разработки с уменьшенными конструктивными параметрами и закладкой выработанного пространства твердеющими смесями (рис. 3) обеспечивает максимальный экономический эффект по сравнению с остальными возможными вариантами отработки запасов месторождения и, вместе с тем, этот вариант более безопасен.

Его преимуществами являются исключение присутствия людей в выработанном пространстве, вследствие использования самоходной техники с дистанционным управлением, более высокая производительность добычных работ и оптимальные показатели извлечения руды.

Таблица 1. Основные технологические показатели по вариантам систем разработки

№ п/п	Наименование показателей	Вариант № 0 (базовый). Система горизонтальных слоев с закладкой	Вариант № 1. Система подэтажного обрушения с торцевым выпуском руды	Вариант № 2. Камерная система разработки с уменьшенными геометрическими параметрами и закладкой выработанного пространства	Вариант № 3. Сплошная камерная система разработки с отбойкой руды на закладочный массив	Вариант № 4. Многостадийная система разработки с закладкой выработанного пространства
1	Балансовые запасы, т	82 476				
2	Потери, %	1,42	15,8	2,2	5,1	2,0
3	Разубоживание, %	4,79	19,9	3,4	9,2	3,8
4	Эксплуатационные запасы, т	85 395	86 697	83 501	86 199	83 974
5	Годовая добыча руды одним комплексом СО, т	71 162	260 091	125 251	172 398	83 974
6	Удельный объем ПНР, м ³ /1000 т	28,7	56,8	113,3	59,7	97,6
	из них по пустой породе, м ³ /1000 т	28,7	54,3	30,4	24,4	34,0
7	Производительность блока, м ³ /чел.-смену	4,4	16,1	8,1	10,8	5,4
8	Количество воздуха необходимого для проветривания очистных работ при годовой производительности 300 тыс. т по рудной массе, м ³ /с	78,5	31,4	47,1	31,4	62,8

Для промышленного внедрения новой для рудника технологии добычи руды была подготовлена рабочая документация по проведению опытно-промышленных испытаний, разработано обоснование безопасности опасного производственного объекта «Рудник Корбалихинский АО «Сибирь-Полиметаллы», получено заключение экспертизы промышленной безопасности, подготовлена и утверждена Программа проведения ОПИ.

К настоящему времени проведена лишь часть опытно-промышленных испытаний в опытном блоке, которые, к сожалению, не были завершены по причине допущенных специалистами рудника значительных отклонений от положений Рабочего проекта. В частности, были существенно увеличены параметры камер. Так, вместо проектных параметров (длина 25 м, ширина 6 м и высота 9 м) параметры одной из камер составили соответственно 25 м, 10 м и 16 м, параметры другой камеры составили 22,5 м, 13,5 м и 16 м, параметры третьей камеры составили 27 м, 9 м и 16 м, параметры четвертой камеры составили 32 м, 7,6 м и 8,8 м.

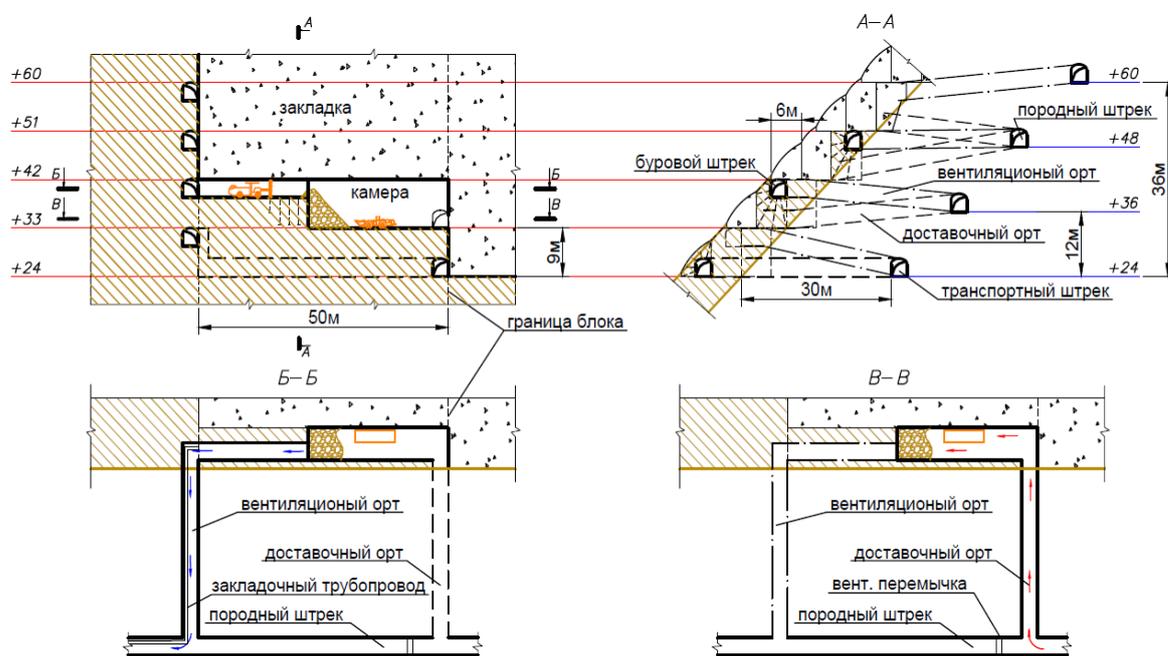


Рис. 3. Камерная система разработки с уменьшенными конструктивными параметрами и закладкой выработанного пространства

Допущенные отклонения параметров камер от проектных привели к тому, что после отработки запасов одной из камер произошло обрушение ее кровли. Это обстоятельство не позволило осуществить качественную закладку твердеющей смесью отработанной камеры с созданием необходимого несущего слоя прочностью 3 МПа. Тем самым не были созданы безопасные условия для проведения очистных работ под упомянутой камерой (без соблюдения этого условия нисходящая выемка невозможна) и по этой причине решением технического совещания при Техническом директоре ОАО «УГМК» испытания были приостановлены. Наряду с приостановкой опытно-промышленных испытаний были приняты решения о выборе АО «Сибирь-Полиметаллы» нового участка для проведения повторных испытаний, о разработке горным университетом корректирующих мероприятий по доработке оставшихся запасов опытного блока и подготовке Рабочего проекта для нового участка.

Несмотря на то, что испытания не были завершены, а были приостановлены, приобретенный опыт применения камерной системы разработки с уменьшенными конструктивными параметрами позволяет сделать выводы о некоторых выявленных проблемах:

1. Нельзя включать в план годовой добычи руды предприятия запасы опытного блока, чтобы исключить стремление побыстрее отработать его запасы, причем, нередко с нарушениями проектной документации.
2. Трудно преодолеваются устоявшиеся, ставшие привычными для рабочих предприятия методы и способы работы. Привыкли, например, на руднике к бурению шпуров и несмотря на то, что скважинное бурение более производительное и менее затратное, переходить к нему не очень то стремятся. Особенно это касается бурения нисходящих скважин.
3. На низком техническом уровне выполняются и исполняются паспорта БВР, а от качества буровзрывных работ, в особенности при создании отрезной щели, зависит качество формирования очистных камер, соответствие их параметров проектным.

Несмотря на возникшие сложности испытания предлагаемого нами варианта камерной системы разработки должны завершиться успешно, что будет способствовать решению задачи рудника о резком увеличении объемов добычи руды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Научно-техническое сопровождение опытно-промышленных испытаний камерной системы разработки с уменьшенными геометрическими параметрами и закладкой выработанного пространства в условиях Корбалихинского месторождения АО «Сибирь-Полиметаллы»: отчет о НИР / УГГУ. Екатеринбург, 2022. 122 с.

ВЫБОР МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПОЛЕВЫХ И СЛОЕВЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ РАЗРАБОТКЕ МОЩНЫХ ПЛАСТОВ

ВАНДЫШЕВ А. М., ПОТАПОВ В. В., ТЮЛЬКИН В. П.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

Аннотация. В статье приводится анализ схем подготовки и отработки мощных пологих и наклонных пластов. На основании выполненных исследований изложены рекомендации по выбору места расположения полевых и слоевых штреков при отработке пластов наклонными пластами.

Ключевые слова: мощные угольные пласты, полевая подготовка пластов, полевые штреки, слоевые штреки, бесцеликовая отработка, местоположение выработок, горное давление.

ENGINEERING CALCULATION OF SUPPORT PILLARS

VANDYSHEV A. M., POTAPOV V. V., TYUL'KIN V. P.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

Abstract. The article provides an analysis of the schemes of preparation and development of powerful shallow and inclined layers. Based on the studies carried out, recommendations are made for choosing the location of field and layer drifts when working out layers with inclined layers

Keywords: powerful coal seams, field preparation of layers, field drifts, layer drifts, aimless mining, the location of workings, mining pressure.

Многообразие горно-геологических условий разработки мощных пластов является основной причиной принятия различных технических решений по их разработке. Эти решения, как показывает анализ, не всегда является бесспорными и требуют дальнейшего совершенствования. Особенно относится к разработке мощных пластов угля, склонного к самовозгоранию и при слабых вмещающих пласты породах. При переходе горных работ на большие глубины недостатки, присущие применяемым в практике схемам подготовки и отработки мощных пластов, усугубляются, что не позволяет достигать высоких технико-экономических показателей, несмотря на применение высокопроизводительной техники.

Анализ отечественного и зарубежного опыта отработки мощных и пологих и наклонных пластов показывает, что наиболее перспективной является технологические схемы с полной полевой подготовкой. [1, 2].

Мощные пологие и наклонные пласты в пределах этажа разделяются на отдельные выемочные поля. Каждое выемочное поле вскрывается с полевых штреков самостоятельными выработками. На откаточном горизонте выемочное поле вскрывается горизонтальными или наклонными квершлагами и уклонами.

Схемы расположения основных вскрывающих и слоевых выработок, применяемые на шахтах России и стран СНГ, приведены на рис. 1.

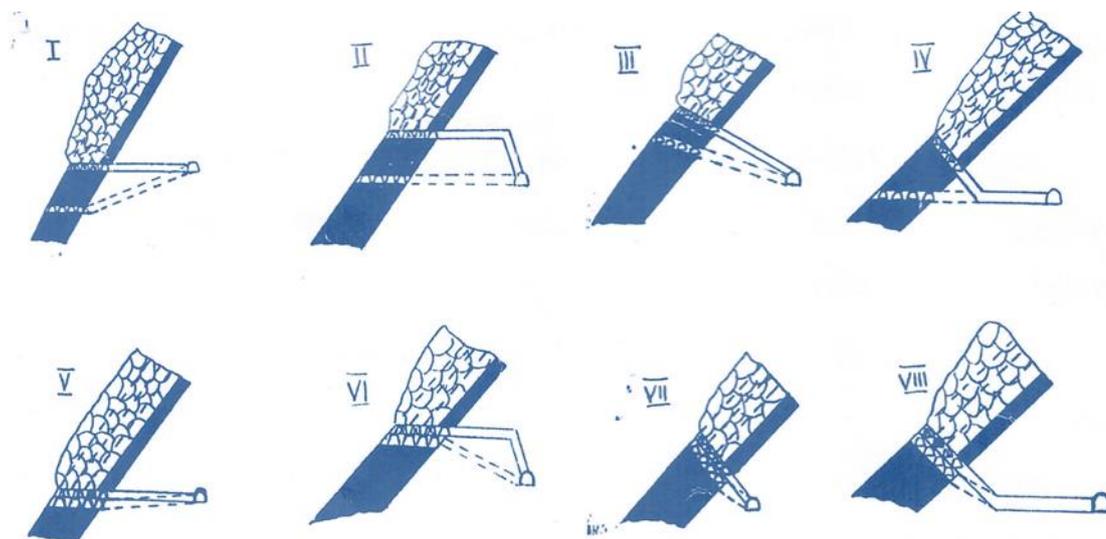


Рис. 1. Схемы расположения основных вскрывающих и слоевых выработок

Схема 1 (рис. 1) широко применяется при разработке мощных пластов на шахтах средней Азии.

Этажные полевые штреки, проводимые в устойчивых палеозойских породах, являются групповыми для всех слоев. Промежуточными квершлагами эти выработки соединяются со слоевыми штреками, которые последовательно проходятся и поддерживаются только на участке между соседними квершлагами.

Слои обрабатываются в нисходящем порядке. Система разработки слоя – длинные столбы по простиранию по схеме *лава–этаж*. Промежуточные квершлаг являются общими при отработке всех слоев. При отработке нижележащих слоев квершлаг восстанавливаются. Охрана вентиляционных штреков осуществляется целиками угля шириной 10 м.

Достоинства схемы 1: небольшие затраты на поддержание подготовительных выработок; хорошие условия проветривания и работы транспорта в пределах крыла; работа без перемонтажа комплекса оборудования в пределах крыла, что уменьшает затраты на монтаж-демонтаж оборудования.

Недостатки схемы 1: значительные потери угля в межэтажных целиках; опасность возникновения подземных пожаров от самовозгорания угля в целиках; опасность возникновения в них горных ударов и тяжелые условия поддержания вентиляционных слоевых штреков, т.к. последние находятся в зоне повышенного остаточного давления.

Схема 2 (рис. 1) отличается от схемы 1 тем, что вентиляционный промежуточный квершлаг проводится на уровне откаточного горизонта, конвейерный квершлаг на 8-10 м выше и соединяется с этажным полевым штреком с помощью гезенка, используемого в качестве аккумулирующего бункера.

Достоинства данной схемы по сравнению со схемой 1 заключаются в наличии аккумулирующего бункера, что устраняет жесткую связь между отдельными элементами технологической цепи. Это способствует обеспечению более ритмичной работы очистных забоев, повышению надежности технологической схемы.

Недостатки схемы 2 аналогичны недостаткам схемы 1.

Схема 3 (рис. 1) характеризуется проведением промежуточных гезенков вместо квершлагов. Гезенки располагаются под углом 60° и используются на откаточном горизонте помимо прочих целей в качестве аккумулирующего бункеров.

Существенным *достоинством* схемы 3 по сравнению с вышеописанными является минимальный объем породных работ, а также работ по поддержанию промежуточных

гезенков; отсутствие затрат по транспортировке угля в гезенке. Наличие бункера-гезенка способствует повышению надежности технологической схемы.

Недостатком схемы 3 является более высокий уровень потерь в охранных целиках; в случае значительной длины гезенка наблюдается переизмельчение угля; трудоемкость доставки материалов и оборудования в лаву; ухудшение условий проветривания при отработке очередного этажа.

Схема 1у (рис. 1) представляет комбинацию из схем 2 и 3 с проходкой гезенка из промежуточных квершлагов.

Достоинством схемы 1у является меньший объем работ по проведению квершлагов по сравнению со схемой 2 и гезенков по сравнению со схемой 3.

Недостатки: более высокий уровень эксплуатационных потерь угля в целиках.

Схемы у, у1, уп, уш (рис.1) аналогичны соответствуют *схемы 1, п, ш, 1у (рис. 1)*. Главным отличием и достоинством данных схем является бесцеликовый способ охраны вентиляционных слоевых штреков.

Бесцеликовая отработка пластов позволяет уменьшить удельные расходы на проведение подготовительных и капитальных выработок; увеличить сроки службы горизонтов и шахты; уменьшить затраты на поддержание слоевых вентиляционных штреков, снизить опасность возникновения эндогенных пожаров и горных ударов.

Существенным недостатком бесцеликовой отработки является сложность своевременной подготовки очистного фронта из-за необходимости соблюдения временных разрывов отработки смежных столбов.

Выемочные штреки являются основными выработками, от правильного размещения которых зависят не только расходы на их поддержание, но также планомерность, бесперебойность добычи и уровень потерь. В то же время эти выработки находятся зачастую в наиболее тяжелых условиях. В подавляющем большинстве выемочные штреки размещаются в зонах влияния опорного горного давления, создаваемых очистными забоями, где они испытывают повышенные или длительные нагрузки от воздействия временного и остаточного опорного давления [1]. Схема распространения зон повышенных и нормальных напряжений в окрестности очистной выработки приведена на рис. 2.

При выборе места расположения слоевых штреков возможны следующие четыре случая: а) за зоной остаточного опорного давления б) между кромкой пласта и максимумом остаточного давления; в) на границе с обрушенными горными породами; г) в обрушенных породах вышележащего этажа или подэтажа на большом расстоянии от кромки угольного пласта.

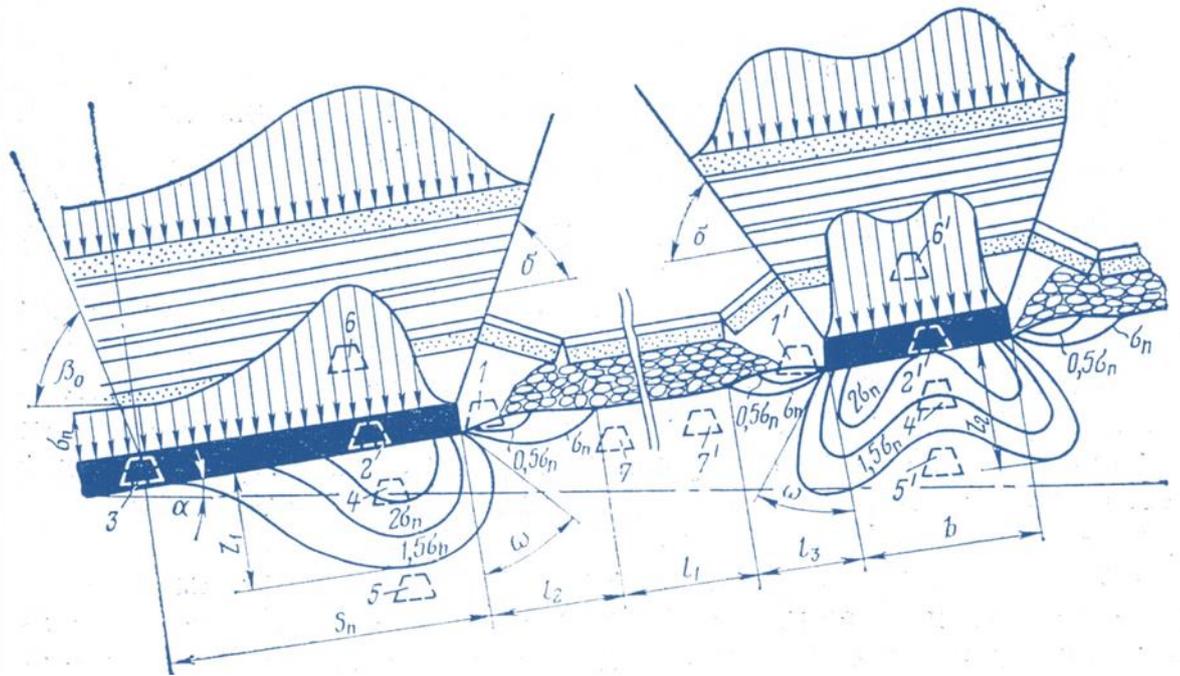


Рис. 2. Схема распространения зон повышенных и пониженных напряжений в области влияния очистных работ

При расположении слоевых штреков за зоной влияния опорного горного давления улучшаются условия их поддержания.

Размер зоны опорного давления по падению пласта по первому L_1 (м) и нижнем слоем $L_{ис}$ (м) мощного пласта определяются по следующим формулам [3]:

первый слой

$$L_1 = \left(26,5 - 0,15\alpha - \frac{170}{H} + \frac{649}{\sigma} + 0,014Loz + \frac{6,9}{K} + \frac{24,7}{B_{ц}} \right);$$

нижний слой

$$L_{ис} = \left(19,8 - 0,12\alpha - \frac{1648}{H} + 0,014Loz + \frac{10,5}{K} + \frac{18,3}{B_{ц}} \right),$$

где σ – прочность пород непосредственной кровли на одноосное сжатие, кг/см²;

α – угол падения пласта, град;

H – глубина расположения выработки, м;

Loz – длина лавы, м;

K – коэффициент, учитывающий мощность пород непосредственной кровли и мощность слоя, ($K = m_{нк}/m_{сл}$);

$m_{нк}$ – мощность пород непосредственной кровли, м;

$m_{сл}$ – мощность слоя, м;

$B_{ц}$ – ширина надштрекового целика угля, м.

С достаточной для практики точностью местоположение максимума напряжений относительно краевой части пласта L_{max} и размер области пониженных напряжений L_H могут быть определена соответственно по формулам $L_{max} = 0,32L_1$; $L_H = 0,13 L_1$

Расположение слоевых штреков за пределами зоны опорного давления приводит к резкому возрастанию потерь угля и повышение опасности возникновения эндогенных пожаров и горных ударов.

В случае проведения выработок между кромкой пласта и максимумом остаточного опорного давления они охраняются целиками угля шириной 3–10 м. При этом, как правило, целик раздавливается и служит опасным источником возникновения эндогенных пожаров, а затраты на поддержание горных выработок резко возрастают.

Расположение выработок на границе с обрушенными породами следует считать наиболее предпочтительным, т.к. это приводит к значительному уменьшению потерь угля, сокращению затрат на поддержание горных выработок, исключает потенциальный источник возникновения эндогенных пожаров и горных ударов в целиках.

Проведение выемочных штреков по обрушенным породам характеризуется теми же преимуществами, но имеет крупный недостаток – значительное осложнение горных работ по проведению выработки из за наличия большого количества старого леса и металла, оставление в выработанном пространстве при отработке вышележащих этажей и подэтажей, что почти полностью затрудняет возможность применения комбайнового способа проведения подготовительных выработок.

При полевой подготовке пластов откаточный штрек первого этажа, как правило, сохраняется для второго этажа, где он используется в качестве вентиляционного. В этом случае полевые штреки при слоевой отработке мощных пластов подвергаются неоднократному воздействию очистных работ.

Это естественно должно учитываться при выборе места их расположения относительно надрабатываемого пласта.

Для правильного расположения горизонтальной полевой выработки относительно надрабатываемого пласта необходимо знать два главных параметра [4] – расстояние от выработки до кромки пласта по напластованию l_n и минимальное расстояние выработки до надрабатываемого пласта (по нормали) h_n (рис. 3).

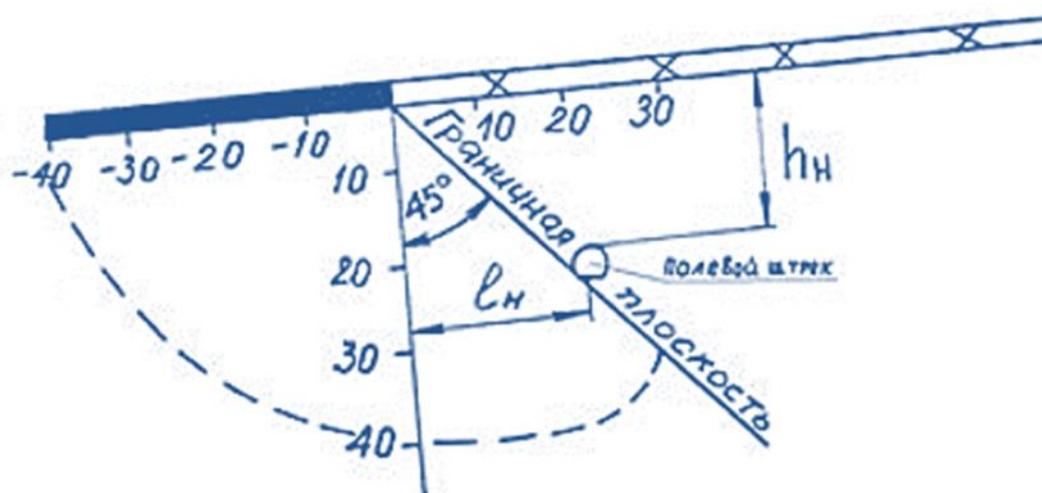


Рис. 3. Схема к определению места заложения полевых выработок

Установлению параметров l_n и h_n при однократной надработке полевых штреков посвящено значительное количество исследований, выполненных для различных угольных бассейнов и месторождений. На базе многолетних исследований ВНИМИ, разработаны рекомендации по выбору места расположения полевых выработок [3]. Эти рекомендации приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1. Минимальная глубина заложения полевой выработки под надрабатывающим пластом при однократной подработке

Расчетная глубина расположения выработки H_p , м	Минимальная глубина заложения выработки под надрабатывающим пластом h_n , м, при сопротивлении пород сжатию R_c , МПа		
	До 40	40–60	Более 60
300	15	10	10
600	20	15	10
900	25	20	15
1200	30	25	20

Таблица 2. Расстояние от полевой выработки до кромки пласта при однократной надработке

Расчетная глубина расположения выработки H_p , м	Расчетное сопротивление пород сжатию R_c , МПа	Расстояние от полевой выработки до кромки пласта (по напластованию) l_n , м, при расстоянии от надрабатывающего пласта до выработки (по нормали) h_n , м			
		10	20	30	40
300	До 40	20	20	25	50
	40–60	15	15	20	15
	Более 60	10	10	15	10
600	До 40	20	25	30	25
	40–60	20	20	25	20
	Более 60	15	15	15	10
900	До 40	25	30	30	25
	40–60	25	25	25	20
	Более 60	20	20	15	10
1200	До 40	30	35	35	30
	40–60	30	20	25	20
	Более 60	25	25	20	15

Проведенные исследования на шахтах Челябинского бассейна и месторождений средней Азии [1] также показали, что вторичная и последующие надработки полевых выработок оказывают существенное влияние на их состояние. Это должно учитываться при определении величин l_n и h_n .

На основании обобщения материалов исследований для определения места заложения полевых выработок под мощным надрабатывающим пластом, отрабатываемым наклонными слоями в нисходящем порядке, рекомендуется принимать следующие параметры.

Минимальная глубина заложения выработки пласта h_n^m , м:

а) при разделении пласта на два наклонных слоя

$$h_n^m = 1,2h_n,$$

б) при разделении пласта на три и более наклонных слоев

$$h_n^m = 1,25h_n,$$

где h_n – минимальная глубина заложения полевой выработки под надрабатывающим пластом средней мощности (по нормали) при однократной надработке (см. табл. 2), м.

Минимальное расстояние полевой выработки до кромки пласта (по напластованию) l_n^m , м:

$$l_n^m = l_n + v(n - 1),$$

где $l_{\text{н}}$ – расстояние от выработки до кромки надрабатывающего нижнего слоя при однократной надработке (см. табл. 2);

v – ширина слоевого штрека, м;

n – количество наклонных слоев, на которые разделяется мощный пласт.

Изложенные в статье рекомендации по выбору местоположения полевых и слоевых выработок при отработке мощных пологих и наклонных пластов наклонными слоями базируется на основании выполненных исследований в натуральных и лабораторных условиях. Использование их позволит повысить эффективность разработки мощных пластов в сложных горно-геологических условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бесцеликовая отработка мощных пологих и наклонных пластов / В. Н. Корнилков, А. М., Вандышев В. В. Таскаев и др.
2. Разработка пологих и наклонных пластов / Никитин В. Д., Крылов В. Ф., Середенко М. И., Белов В. П. М.: Недра, 1978. 171 с.
3. Вандышев А. М., Тюлькин В. П., Кокарев К. В. Обоснование конструктивных параметров технологических схем разработки мощных пологих пластов // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: сборник докладов VII Международной научно-технической конференции в рамках Уральской горнопромышленной декады. Ответственный за выпуск Н. Г. Валиев. 2018. С. 61–64.
4. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. Л.: ВНИМИ, 1981. 222 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЗРЫВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КАМЕРНОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ С ЗАКЛАДКОЙ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА

ВАЛИЕВ Н. Г., БЕРКОВИЧ В. Х., ПРОПП В. Д., ШОХОВ С. О., СТАРЦЕВ В. А.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

Аннотация. Статья содержит идею использования энергии взрыва заряда ВВ для повышения эффективности применения камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства. Использование энергии взрыва позволит обеспечить эффективное дробление руды при отбойке руды на закладку в зажатой среде, повысит прочность искусственного массива за счет уплотнения его взрывом и сократит промежуток времени между отбойкой руды и закладкой пустот.

Ключевые слова: камерная система разработки, энергия взрыва, закладка, уплотнение, коэффициент разрыхления, компенсация, отбойка руды в зажатой среде.

THE USE OF EXPLOSION ENERGY TO INCREASE THE EFFICIENCY OF THE USE OF A CHAMBER DEVELOPMENT SYSTEM WITH A BOOKMARK OF THE DEVELOPED SPACE

VALIEV N. G., BERKOVICH V. H., PROPP V. D., SHOKHOV S. O., STARTSEV V. A.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

Abstract. The article contains the idea of using the energy of an explosive charge explosion to increase the efficiency of using a chamber development system with a bookmark of the developed space. Using the energy of the explosion will allow for effective crushing of ore when breaking ore for laying in a clamped environment, will increase the strength of the artificial array by compacting it with an explosion and will shorten the time interval between breaking ore and laying voids.

Keywords: Chamber mining system, explosion energy, laying, sealing, loosening coefficient, compensation, ore breaking in a clamped medium.

Сущность запатентованного в Уральском государственном горном университете варианта системы разработки поясняется на рис. 1, где показана камерная система разработки с отбойкой руды на закладочный массив, и на рис. 2, где представлен механизм уплотнения закладочного массива взрывом заряда ВВ.

Отработку рудной залежи ведут панелями 1 с выемкой руды камерами-секциями 2 на всю мощность рудного тела с торцовым выпуском отбитой руды 3 через панельные буродоставочные выработки 4 с ориентированием общей линии фронта очистных работ по направлению максимальных главных напряжений 1θ (σ_T). Отбойку руды в камерах ведут в зажатой среде на закладочный массив 5 веерами скважин 6. Выработанное пространство изолируют перемычками 7 и по закладочному трубопроводу 8 заполняют твердеющим материалом 9. Взорванный объем руды после отделения от массива по линии скважин движется в сторону закладочного массива, сжимая его. При этом коэффициент разрыхления

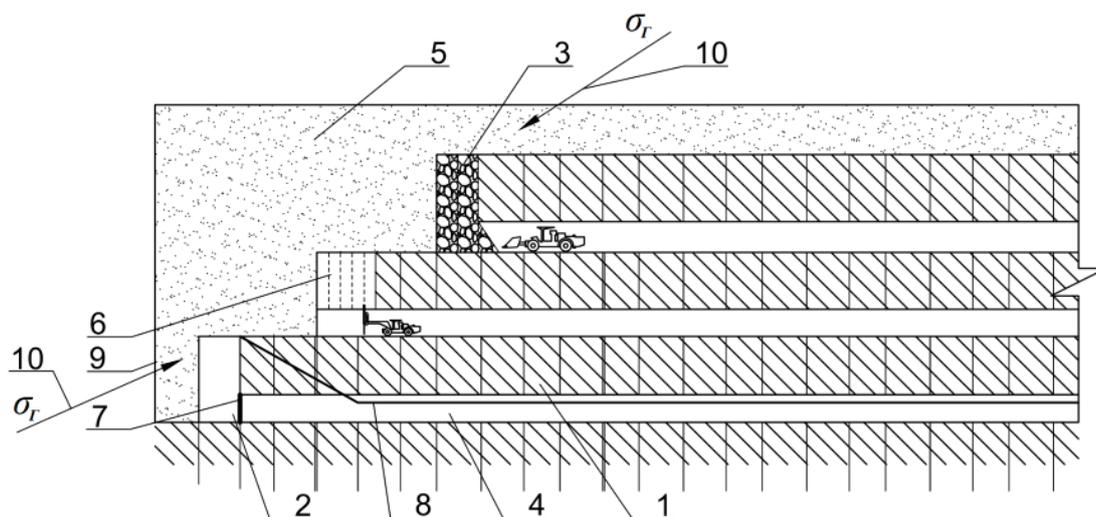


Рис. 1. Камерная система разработки с отбойкой руды на закладочный массив
 закладочного массива изменяется от начального значения p_n до конечного значения p_k

В связи с тем, что отбойка руды в камере ведется в зажиме на закладочный массив, то последний подвергается уплотнению. Механизм уплотнения, можно сравнить с поршневым действием движущейся взорванной массы $L_{взр}$ на уплотняемый закладочный массив толщиной L_{max} .

Величина поступательного движения взрываемого слоя руды ограничена пространством, образовавшимся в результате уплотнения закладки. При условно неограниченной толщине слоя закладки L_{max} границу подвижки, а также ее максимальную величину можно определять по компрессионной кривой (рис. 2).

Образовавшееся за счет уплотнения закладочного массива пространство можно считать той компенсацией, которая необходима для размещения объема взрываемого слоя руды, коэффициент разрыхления которого изменяется от начального значения $p_{рн}$ до конечного значения $p_{рк}$.

Нетрудно заметить, что суммарная величина подвижки уплотняемого слоя закладки должна быть равна линейному приращению объема взрываемого уплотняемого слоя руды.

Принимая во внимание равенство конечных коэффициентов разрыхления взрываемого и слоев, определим соотношение между ними по условию создания минимально возможного компенсационного объема:

$$L_{взр} (p_{рн} - p_{рк}) = L_{max} (p_n - p_k) / p_n.$$

Левая часть уравнения показывает приращение объема взорванной руды $L_{взр}$, правая – уменьшение объема закладки L_{max} при ее уплотнении.

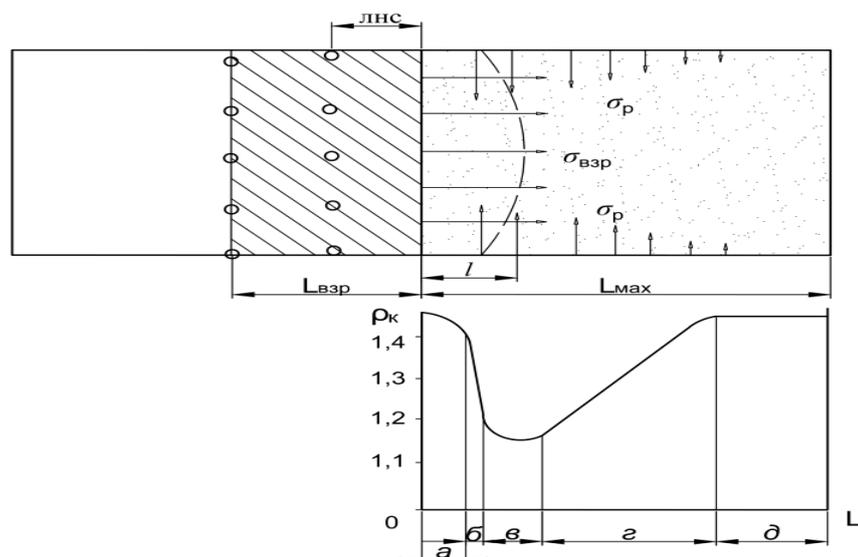


Рис. 2. Механизм уплотнения закладочного массива энергией взрыва:

a – компенсационное пространство; $a + b$ – зона упругой разгрузки; e – зона интенсивного уплотнения; z – зона уплотнения; d – граница зоны уплотнения

При этом величина линейной подвижки уплотненного закладочного массива определяется по формуле:

$$l = L_{\max} (p_n - p_k) / p_n.$$

Конечный коэффициент разрыхления закладки в пределах зоны деформации не остается постоянным и уменьшается по мере удаления от зоны приложения взрывной нагрузки. Поэтому в данной зависимости следует принимать средний коэффициент разрыхления, соответствующий достигнутой линейной деформации (компенсации).

Рассматриваемый механизм уплотнения закладочного массива взрывом заряда ВВ позволяет определять энергетические затраты на создание оптимальной компенсации, обеспечивающей и эффективное дробление руды при отбойке руды на закладку в зажатой среде, и повышение прочности искусственного массива за счет уплотнения его взрывом, и сокращение промежутка времени между отбойкой руды и закладкой пустот.

ЛИТЕРАТУРА

1. Валиев Н. Г., Беркович В. Х., Пропп В. Д., Боровиков Е. В., Агарков И. А., Шадрин Д. М. Патент РФ № 2723812. Способ разработки пологих и наклонных удароопасных рудных месторождений. № 2019136592; заявл. 13.11.2019; опубл. 17.06.2020, Бюл. № 17.

ОТРАБОТКА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ С УПРОЧНЕНИЕМ ПОРОД РАСТВОРАМИ СМОЛ

ВАНДЫШЕВ А. М., ПОТАПОВ В. В.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы обеспечения высоких технико-экономических показателей и безопасности отработки угольных пластов при наличии мелко амплитудных нарушений. Приводится технология и организация ведения очистных работ с механизированными комплексами в зоне геологических нарушений с упрочнением пород растворами смол. При этом предлагаемая организация очистных работ предусматривает химическое упрочнение пород в зоне нарушения во времени совмещенным с плановыми перерывами в работе непосредственно по выемке угля. Применение предлагаемой технологии позволит обеспечить суточную нагрузку на очистной забой от трех до пяти тысяч тонн. При этом также снижаются потери угля и опасность возникновения эндогенных пожаров.

В статье рассмотрены особенности работы механизированного комплекса на нарушенных участках угольных пластов. Приводится обоснование необходимости совмещения работ по химическому упрочнению пород с плановыми перерывами в работе очистного забоя.

Ключевые слова: очистной забой, нарушенный участок, химическое упрочнение, шпур, смола, горная выработка, пласт угля, механизированный комплекс, безопасность работ.

MINING OF COAL SEAMS WITH HARDENING ROCKS WITH RESIN SOLUTIONS

VANDYSHEV A. M., POTAPOV V. V.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

Abstract. The article discusses the issues of ensuring high technical and economic indicators and the safety of mining coal seams in the presence of small amplitude violations. The technology and organization of cleaning operations with mechanized complexes in the zone of geological disturbances with the consolidation of rocks with resin solutions are given. At the same time, the proposed organization of cleaning works provides for chemical hardening of rocks in the zone of disturbance in time combined with planned interruptions in work directly on coal extraction. The application of the proposed technology will ensure a daily load on the treatment face from three to five thousand tons. At the same time, coal losses and the risk of endogenous fires are also reduced. The article discusses the features of the operation of a mechanized complex in disturbed areas of coal seams. The justification of the need to combine work on chemical hardening of rocks with planned interruptions in the work of the treatment face is given.

Keywords: treatment face, disturbed area, chemical hardening, borehole, resin, mining, coal seam, mechanized complex, work safety.

Совершенствование технологии разработки пластовых месторождений базируется на комплексной механизации и автоматизации производственных процессов, создании и применении новых типов очистных и проходческих механизированных комплексов, новых систем разработки.

При повышении рентабельности и экономической эффективности угольных шахт значительное внимание отводится концентрации горных работ, повышению нагрузки на очистные забои, уменьшению протяженности поддерживаемых горных выработок. Однако обеспечение высокой технологичности и безопасности всех процессов подземной разработки пластовых месторождений возможно лишь на базе изучения и управления состоянием массива горных пород в зонах влияния горных выработок и ведения горных работ.

Проблемы выбора и обоснования эффективных способов управления состоянием массива горных пород при подземной разработке пластовых месторождений относятся к одним из наиболее сложных и ответственных, поскольку должны обеспечить безопасную и эффективную выемку полезных ископаемых.

Расширение области применения механизированных комплексов на пологих и наклонных пластах приводит к необходимости внедрять их на нарушенных участках со значительными амплитудами смещения, переменными углами падения и непостоянной мощностью пластов. В эксплуатацию вовлекаются все более сложные по своему тектоническому строению выемочные участки, в результате чего объем шахтных полей, имеющих тектонические нарушения, ежегодно увеличивается [1].

Отсутствие обоснованного планирования горных работ на нарушенных пластах приводит к невыполнению проектных показателей работы очистных забоев и шахт в целом. В результате потерь угля в нарушенных зонах создаются условия для его самовозгорания, сокращается срок службы шахт и повышаются удельные затраты на добычу угля.

Особенностью работы механизированного очистного забоя на нарушенных участках является существенное возрастание времени, затрачиваемого на вспомогательные процессы, связанные с управлением состоянием пород кровли и не совмещенные с работой выемочной машины. При этом отмечается как снижение интенсивности добычи угля, так и возрастание общих потерь добычи при отработке нарушенных участков. Основная особенность функционирования рассматриваемой технологии отработки нарушенных участков с упрочнением массива заключается в максимальном совмещении во времени работ непосредственно по добыче и работ по упрочнению массива. Эта цель может быть достигнута при условии выполнения цикла работ по химическому упрочнению в ремонтную смену.

Нагрузка на очистной забой при отработке нарушенного участка может быть определена по формуле:

$$A = \frac{n[T - (T_{пз} + T_{п} + T_{о})] * K_{н} * L * r * m * \gamma * c}{L_{м} * (\frac{1}{V_{р}} + \frac{1}{V_{м}}) + t_{в}}, \quad (1)$$

где n – количество смен по добыче угля в сутки;

T – длительность смен, мин;

$T_{пз}$ – время на подготовительно-заключительные операции в смену, мин;

$T_{п}$ – суммарное время учитываемых технологических перерывов в смену, мин;

$T_{о}$ – время на отдых, мин;

$K_{н}$ – коэффициент надежности технологической смены;

L – длина лавы, м;

r – ширина захвата исполнительного органа выемочной машины, м;

m – вынимаемая мощность пласта, м;

γ – средняя плотность угля, т/м³;

c – коэффициент извлечения угля в лаве;

$L_{м}$ – длина машинной части лавы (без учета суммарной длины ниш), $L_{м} = L - L_{1}$, м;

$V_{р}$ – рабочая скорость подачи комбайна, м/мин;

$V_{м}$ – скорость подачи комбайна при зачистке лавы, м/мин;

$t_{в}$ – время на вспомогательные операции, мин;

$t_{\text{кон}}$ – продолжительность концевых операций, мин;

Принципиальная технологическая схема обработки нарушенных участков с упрочнением массива представлена на рис. 1.

С учетом применения рассматриваемой технологии (пологие угольные пласты средней мощности), плановые нагрузки на очистной забой должны составлять от 3 до 7 тыс. т/сут, что соответствует подвиганию очистного забоя от 5 до 12 м/сут. Исходя из возможностей технологии химического упрочнения массива рациональная длина шпуров, как правило, не превышает 3 метра. Этот параметр ограничен также требованием нахождения зоны обработки позади зоны максимума опорного давления. В противном случае будет затруднен процесс бурения и нагнетания, а также массив снова будет разрушен при проходе волны опорного давления через обработанную зону. Следовательно, для того чтобы обработать горный массив в ремонтную смену на величину суточного подвигания лавы ($L_{\text{оч.сут.}}$), необходимо выполнить следующие условия:

$$r_{\text{оп}} \geq L_{\text{оч.сут.}}$$

На практике для рассматриваемых условий $r_{\text{оп}}$ равно 3–4 м, поэтому не существует даже теоретической возможности перейти нарушенный участок без снижения нагрузки на очистной забой. Поэтому химическое упрочнение горного массива следует производить во времени, совмещенном с плановыми перерывами в работе очистного забоя (см. рис. 1).

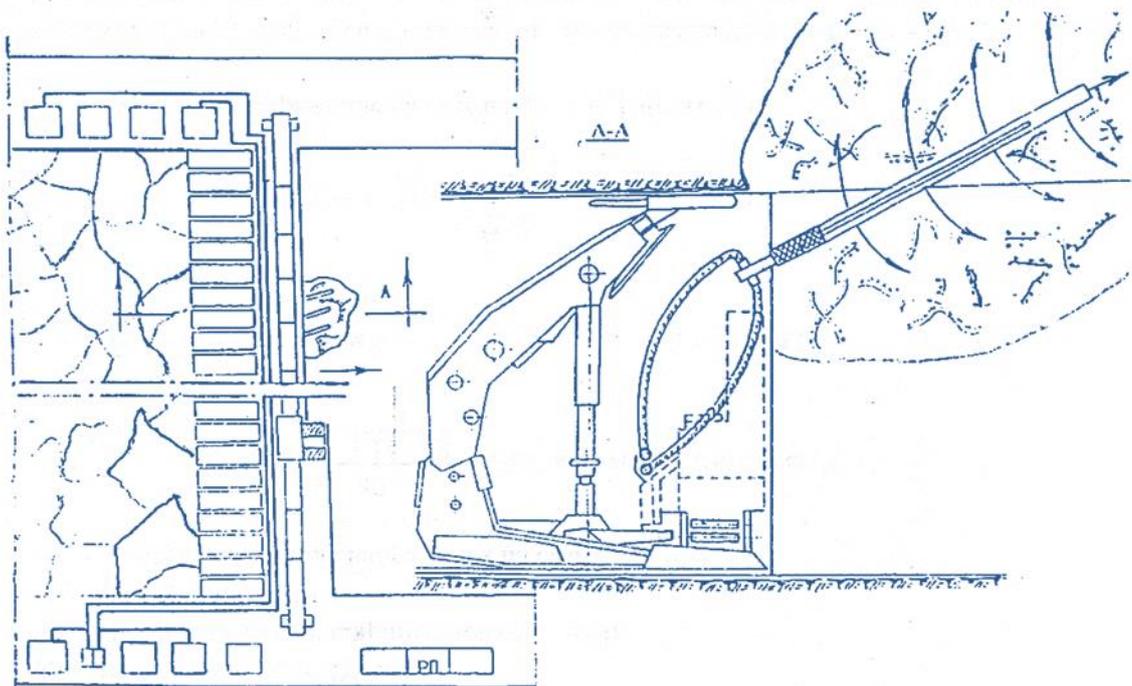


Рис. 1. Технологическая схема обработки нарушенных участков с упрочнением массива

Время на химическое упрочнение массива ($T_{\text{обр}}$, мин) определяется по формуле:

$$T_{\text{обр}} = t_{\text{бур}} N_{\text{шп}} + t_{\text{герм}} N_{\text{шп}} + t_{\text{под}} N_{\text{шп}} + t_{\text{наг}} N_{\text{шп}} + T_{\text{отв}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{бур}}$, $t_{\text{герм}}$, $t_{\text{под}}$, $t_{\text{наг}}$ – соответственно, время, затрачиваемое на бурение, герметизацию, подключение к магистрали, нагнетание смолы в один шпур, мин;

$N_{\text{шп}}$ – необходимое количество шпуров в забое;

$T_{\text{отв}}$ – время отвердевания смолы в последнем шпуре.

1. Вандышев А. М., Феклистов Ю. Г., Аксенов А. А. Подземная разработка месторождений полезных ископаемых. Разработка нарушенных угольных пластов: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2002. 94 с.
2. Шундулиди И. А., Чубриков А. В. Управление состоянием нарушенного угольного массива при помощи органоминеральной смолы WILKIT-E // Уголь. 2003. № 5.
3. Вандышев А. М. Управление состоянием массива горных пород: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1994. 128 с.
4. Кулак В. Ю., Волошин В. А., Фрянов В. Н. Оценка влияния качества разведанности угольных месторождений на эффективность проектных решений // ГИАБ. 2015 № 5. С. 13–22.
5. Поздеев И. А., Поздеева И. М., П. В. Васильев. Исследование зависимости параметров напряженно деформированного состояния геомассива в окрестностях очистного забоя от прочности угля обрабатываемого пласта // ГИАБ. 2017. № 4. С. 305–319.
6. Поздеев И. А., Поздеева И. М., П. В. Васильев. Исследование зависимости параметров напряженно-деформированного состояния углепородного массива от распора секции крепи механизированного забоя // ГИАБ. 2016. № 7. С. 313–327.
7. Вандышев А. М., Потапов В. В., Шикшеев Н. В. Отработка нарушенных участков угольных пластов с химическим упрочнением // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: VI Международная научно-техническая конференция (Екатеринбург, 18–19 апреля 2017 г.); Уральская горнопромышленная декада, г. Екатеринбург, 17–26 апреля 2017 г.): сборник докладов / оргкомитет: Н. Г. Валиев (отв. за выпуск) и др.; Урал. гос. горный ун-т. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. С. 49–52.
8. Вандышев А. М., Афанасенко Е. П. Выбор способов поддержания выработок с учетом развития геомеханических процессов вокруг них. VI Международная научно-техническая конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений», г. Екатеринбург, 18–19 апреля 2017 г. (Уральская горнопромышленная декада, г. Екатеринбург, 17–26 апреля 2017 г.): сборник докладов / Оргкомитет: Н. Г. Валиев (отв. за выпуск) и др.; Урал. гос. горный ун-т. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. С. 265–269.
9. Peng H., Cai Q., Zhou W., Shu J., Li G. Study on stability of surface mine slope influenced by underground mining below the end slope // Procedia Earth and Planetary Science. 2011. Vol. 2. P. 7–13.
10. Yang S. Research on mine pressure behaviors and overlying strata movement laws in solid backfill mining methods // Proceedings of 30th International Conference on Ground Control in Mining. Morgantown, WV, 2011. P. 351–356.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСПЛАВА ГОРНОЙ ПОРОДЫ КАК НОВОГО СПОСОБА КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

ВАЛИЕВ Н. Г.¹, ПЕТРОВ В. П.², ХУСНУЛЛИН Д. Р.¹

¹Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

²Научно-исследовательский и проектный институт АО «Уралмеханобр», Екатеринбург

Аннотация. Крепление горных выработок в местах их эксплуатации в настоящее время осуществляют с помощью различных видов крепи по технологиям, обеспечивающим их установку и безопасную эксплуатацию. Способы характеризуются большим объемом подготовительных работ с обязательной операцией доставки крепежного материала до места, постоянного присутствия горнорабочих на процессе установки крепи. Низкая производительность труда не позволяет наращивать объемы крепления горных выработок и производить смежные операции проходческого цикла. Исследование проводится с целью найти альтернативный вариант способа крепления горной выработки, соответствующий горно-геологическим и горнотехническим условиям нахождения горной выработки и увеличивающий производительность труда на процессе. На основании проведенного анализа горно-геологических и горнотехнических условий рудников, рассмотрен опыт применения каменного литья в смежных отраслях промышленности и рассмотрен возможный альтернативный вариант. Для дальнейшего изучения предполагаемой гипотезы каменнолитевского способа крепления горных выработок предложены варианты направлений исследования свойств горных пород. Исследования направлены на крепление горной выработки расплавом породы, который образуется под воздействием электрической дуги, включающий формирование монолитного упрочненного слоя вследствие создаваемой измененной горной породы по периметру выработки. Предлагаемый способ инновационной технологии формирования упрочненного слоя крепления горной выработки позволяет: повысить эффективность производства крепления горных выработок, за счет использования материала, представляющего законтурный массив выработки; исключить использование различных доставляемых к месту крепления горной выработки материалов.

Ключевые слова: расплав горной породы, каменное литье, крепление горных выработок, безопасность горных работ.

PROSPECTS FOR USE OF ROCK MELT AS A NEW METHOD OF FASTENING MINING

VALIEV N. G.¹, PETROV V. P.² KHUSNULLIN D. R.¹

¹Ural State Mining University, Ekaterinburg

²Research and design institute OJSC «Uralmekhanobr», Ekaterinburg

Abstract. The fastening of mine workings in the places of their operation is currently carried out with the help of various types of supports according to technologies that ensure their installation and safe operation. The methods are characterized by a large amount of preparatory work with the obligatory operation of delivering the fastening material to the place, the constant presence of miners during the installation of the support. Low labor productivity does not allow to increase the volume of fastening of mine workings and to perform adjacent operations of the tunneling

cycle. The research is carried out in order to find an alternative method of fixing the mine workings, corresponding to the mining-geological and mining-technical conditions of finding the mine workings and increasing labor productivity in the process. Based on the analysis of mining-geological and mining conditions of mines, the experience of using stone casting in related industries is considered and a possible alternative option is considered. The proposed method of innovative technology for the formation of a reinforced layer of fastening of mining workings allows: to increase the efficiency of the production of fastening of mining workings, using a material representing a structured array of workings; to exclude the use of various materials delivered to the place of fastening of mining workings.

Keywords: rock melt, stone casting, fixing of mine workings, safety of mining operations.

Введение

Проблема обеспечения устойчивости горных выработок является одной из самых актуальных в комплексе вопросов строительства и эксплуатации рудных месторождений [1].

При подземной разработке месторождений полезных ископаемых крепление горных выработок является одним из основных и очень важных производственных процессов, без которого практически невозможна эксплуатация рудника. Надежное крепление горных выработок и их хорошее состояние — неперемное условие безопасности подземных работ высокой производительности труда шахтеров, успешной работы рудника. Поддержание выработок в рабочем состоянии в течение срока их службы является нелёгкой технической задачей, для успешного решения которой требуется комплекс мероприятий, средств и способов крепления [2].

Горной крепью называют специальные конструкции, возводимые в подземных выработках для сохранения необходимых размеров их поперечного сечения и предотвращения обрушения окружающих пород [3].

Крепь должна быть достаточно прочна, устойчива, долговечна, она должна минимально заполнять сечение выработки, иметь небольшое аэродинамическое сопротивление, минимальные затраты на изготовление, доставку и установку.

В горнодобывающей промышленности ведётся систематическая работа по совершенствованию конструкции крепей, технологии и механизации крепления с целью повышения надежности, безопасности и экономичности крепей снижение трудовых и материальных затрат.

Доля подземной добычи руды на рудниках и шахтах постоянно увеличивается. Это приводит к новым требованиям в горно-проходческих работах, при совершенствовании которых должны быть увеличены скорости проведения горизонтальных и наклонных выработок, улучшено состояние выработок с использованием совершенных способов их крепления и поддержания.

Цель исследования

Изыскание нового способа крепления горных выработок для создания безопасного и надежного способа возведения крепи в горных выработках и увеличения производительности по креплению.

Объект исследований и анализ аналогичного опыта

Объектом исследований являются горные породы месторождений.

Горные породы представляют собой связанный комплекс различных минералов, образующие самостоятельные геологические тела, слагающие земную кору. По степени связи минеральных зерен и частиц все породы делят на твердые, связные и сыпучие.

По происхождению горные породы подразделяют на три группы: магматические или изверженные, образовавшиеся в результате застывания на поверхности земли или в земной коре силикатного расплава, называемого магмой; осадочные, образовавшиеся при переносе и осаждении органических и неорганических веществ на дне водных бассейнов;

метаморфические, образовавшиеся в процессе изменения осадочных и изверженных горных пород под влиянием высокой температуры и давления.

Строение любой горной породы оценивается двумя основными признаками: структурой и текстурой.

Под структурой горных пород понимают взаимное расположение отдельных минеральных зерен или отдельных агрегатов этих зерен, на которые горные породы могут распадаться. Структура характеризует крупность зерен, слагающих породу, которая бывает мелко-, средние- и крупнозернистой. Мелкозернистые породы, как правило, обладают более высокой прочностью, чем крупнозернистые того же минерального состава.

Знание физико-механических свойств горных пород позволяет заблаговременно составить представление о характере возможных деформаций и степени устойчивости обнажении массива, а также является основанием для разработки и внедрения наиболее эффективных методов крепления и поддержания горных выработок.

При проведении горных работ приходится иметь дело в основном с твердыми породами, свойства которых зависят не только от их минералогического состава, но и от условий образования.

На протяжении многих лет проводились исследования и опробования различных способов воздействия на горные породы для получения альтернативных вариантов обработки природного материала.

Широко известен термический способ разрушения горных пород, основанный на превращение горной породы в жидкое и газообразное состояние. При интенсивном разогреве породы пламенем или газами реактивной горелки (при температуре 250–500 °С) в поверхностном слое породы возникают термические напряжения, которые приводят к ее хрупкому разрушению. При действии высокотемпературной (до 1200–1700 °С) газовой струи порода расплавляется и происходит ее испарение. Для термического способа разрушения горных пород используют специальные станки с огнеструйными горелками. Термическое бурение применяют на открытых горных работах при бурении скважин в породах большой крепостью.

Электромагнитные способы разрушения горных пород представляют собой взаимодействие электромагнитного поля с горной породой, в которой происходит преобразование электромагнитной энергии в тепловую из-за токов проводимости. Дальнейший процесс протекает по схеме термических способов разрушения, то есть путем преобразования тепловой энергии в механическую работу разрушения.

К электромагнитным способам разрушения относятся: низко- и высокочастотной пробой, низко- и высокочастотный нагрев, инфракрасный нагрев, электронный луч и другие [3].

Известен способ крепления почвы горной выработки (патент RU № 2468207, опубл. 27.11.2012), при котором защита горных выработок достигается тем, что, согласно изобретению, на участках глинистых и глиносодержащих пород, склонных к пучению в несколько стадий бурят шпуры на толщину упрочняемого слоя, устанавливают в них нагревательные элементы и обжигают породы упрочняемого слоя. Причем на первой стадии производят бурение опережающих наклонных шпуров, установку в них нагревательных элементов и предварительную термообработку пород почвы. На второй стадии с некоторым отставанием от забоя бурят веера шпуров в почве выработки в плоскости ее поперечного сечения и с помощью установленных в них термоэлементов производят повторную термообработку пород почвы и окончательное оформление обратного грузонесущего свода.

Недостатком способа является его низкая скорость упрочнения пород в массиве при принятом режиме термообработки упрочняемого слоя. Кроме того, вследствие взаимодействия шпуров между собой при нагревании массива на первой стадии возможно осыпание стенок шпуров, что исключает их использование на второй стадии – стадии обжига.

В петругическом производстве применяется способ расплава горных пород и литья из его желобов, труб, плит и др. изделий.

Каменное литье – производство материалов и изделий путем литья из расплавов горных пород (таких, как базальт и диабаз) методом литья на промышленных предприятиях.

Каменное литье получают в электродуговых или газовых печах. Процесс плавки каменного литья аналогичен плавке металла, температура плавления близкая. Для получения плотной структуры, камнелитые изделия проходят отжиг при плавном снижении температуры от 800 °С до 200 °С. Поэтому производство каменного литья является более энергоёмким процессом чем, например, производство стали.

В горнорудной отрасли на обогатительных фабриках каменным литьем футеруют трубопроводы и желоба для шламовых вод. Также возможно применение литых тьюбингов для крепления горных выработок.

Обсуждение результатов

Предлагается провести исследования способа крепления горной выработки расплавом породы, который образуется под воздействием электрической дуги, включающий формирование монолитного упрочненного слоя вследствие создаваемой измененной горной породы по периметру выработки. Технология применима в массиве породы, обладающей свойствами электропроводимости, для создания ванны расплава массива горной породы под воздействием электрической дуги, при этом формируемый по периметру выработки слой состоит из породы, в которой находится выработка. В процессе естественного остывания ванны с расплавом горной породы образуется монолитный, упрочненный слой видоизмененной горной породы в виде каменного литья.

Заключение

Процесс крепления горных выработок является одним из самых трудоемких и затратных при отработке месторождения, но при этом необходим для создания безопасных условий ведения горных работ.

Статья содержит анализ исследования применимости расплавов горных пород и позволяет определить рациональность использования природного материала, а также уточнить условия осуществления процесса плавления.

Результатом исследования является формируемый монолитный каменный слой породы по контуру выработки обеспечивающий устойчивость выработки на участках неровностей и трещиноватостей пород.

Новым признаком в предлагаемом способе является:

– преобразование породы на контуре горной выработки происходит под действием электрической дуги, образующейся в районе воздействия электрода, в формирующейся ванне.

В новом способе возведения крепления даны рекомендации по обеспечению высоких скоростей крепления горных выработок с использованием инновационной техники и прогрессивных форм организации труда при безопасном ведении горных работ, изложенный способ обеспечения устойчивости горных выработок путем применения совершенных крепей и технологий их возведения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Картозия Б. А., Корчак А. В. Перспективы использования ресурсосберегающих конструкций крепи капитальных горных выработок на шахтах. М.: МГУ, 2010 125 с.
2. Гелескул М. Н., Каретников В. Н. Справочник по креплению капитальных и подготовительных горных выработок М.: Недра, 1982.
3. Мельников Н. И. Проведение и крепление горных выработок: учебник для техникумов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1988.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТИВНУЮ КОМБИНИРОВАННУЮ РАЗРАБОТКУ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

БАИЗБАЕВ М. Б.¹, НҮРТАЙ Ж. Т.¹, АБДИЕВА Л. М.², ЕСЕНБЕКОВА А. Т.²

¹АО «Казахский университет технологии и бизнеса», Астана

²НАО «Карагандинский технический университет им. А. С. Сагинова», Караганда

Аннотация. Комбинированная геотехнология позволяет выявить основные направления реализации идеи комплексного освоения недр в области открыто-подземной разработки. К ним относятся: сочетание технологических элементов, открытых и подземных горных работ на стадии очистной выемки, совместное использование открытых и подземных горных выработок для транспортирования руды, использование единого выработанного пространства открытых и подземных горных работ для размещения вскрыши.

Ключевые слова: очистное пространство, горные работы, открыто-подземный способ, геомеханические процессы.

THE INFLUENCE OF TECHNOGENIC FACTORS ON THE EFFECTIVE COMBINED DEVELOPMENT OF ORE DEPOSITS

BAIZBAYEV M. B.¹, NURTAI ZH. T.¹, ABDIEVA L. M.², YESSENBEKOVA A. T.²

¹JSC «Kazakh University of Technology and Business», Astana

²NAO «A. S. Saginov Karaganda Technical University», Karaganda

Abstract. Combined geotechnology makes it possible to identify the main directions of the implementation of the idea of integrated development of the subsoil in the field of open-underground mining. These include: a combination of technological elements, open and underground mining operations at the stage of treatment excavation, the joint use of open and underground mining operations for ore transportation, the use of a single developed space of open and underground mining operations to accommodate overburden.

Keywords: cleaning space, mining operations, open-underground method, geomechanical processes.

Характерной особенностью комбинированной разработки является наличие карьерного и подземного очистных пространств, находящихся в непосредственной близости. Совмещение открытых и подземных работ или переход с открытой добычи на подземный способ выдвигает на первый план геомеханические аспекты выбора технологических схем и параметров разработки. Это обусловлено необходимостью совместных оценок состояния горного массива вблизи подземных выработок и подработанных бортов карьера. Наличие техногенного пространства, образованного открытым способом добычи, существенно осложняет геомеханическую обстановку в зоне подземных работ, изменяя напряженно-деформированное состояние элементов систем подземной разработки, создавая зоны концентрации и разгрузки напряжения. С другой стороны, наличие обширных подземных выработанных пространств ведет к разупрочнению и разрушению пород налегающего массива, снижению устойчивости подрабатываемых бортов карьеров, опорных и разделительных целиков. Прогнозирование поведения подрабатываемых массивов пород, оцен-

ка устойчивости обнажений, определение рациональных технологических параметров разработки в этом случае могут базироваться только на изучении геомеханических процессов, протекающих в зоне взаимного влияния подземных и открытых работ. Предпосылки успешного решения проблем комбинированной разработки, обеспечение ее эффективности достигается знанием закономерностей распределения напряжений деформаций, смещений, формирующихся в массиве в процессе эксплуатации месторождения комбинированным способом. Исследования в этих направлениях являются методической базой обоснования параметров комбинированных технологий, таких как рациональные схемы вскрытия и подготовки, надежные методы управления состоянием подрабатываемых массивов.

Проведение подземных горных работ в зоне влияния карьера (под дном и в бортах) вызывает перераспределение напряжений в разработанном массиве. Изменение напряженного состояния массива горных пород вызывает, в свою очередь, перераспределения величин и направление действия сдвигающих и удерживающих сил.

Степень разупрочнения пород в результате подработки может быть различной и зависит от конкретных условий месторождения: интенсивности структурной раздробленности массива; ориентировки плоскостей ослабления относительно подземных очистных выработок и элементов карьера; начальной прочности массива; стадии развития зоны сдвижения степени подработки массива; скорости подработки и др.

Влияние техногенного пространства, образованного карьером, на подземные горные работы изучались также с целью определения предпочтительного порядка и направления развития горных работ в переходной зоне месторождения. Исследовались варианты направления развития подземных работ от массива к откосу и от откоса к массиву. Направление развития подземных горных работ по вертикали не оказывает существенного влияния на формирование полей напряжений в подработанном борту. С целью интенсификации работ и обеспечения управления устойчивостью бортов, на первом подземном горизонте в основании карьера предпочтительна разработка запасов с разделением на панели, сплошной выемкой запасов.

Факторами, определяющими применение открыто-подземной технологии на месторождениях, являются: совместное использование горных выработок для транспортирования и дренажа; наиболее полное освоение запасов месторождения; использование пустых пород в качестве закладочного материала с упрощенной схемой подачи их в шахту. Факторами, ограничивающими применение данного способа, являются недостатки: необходимость снижения сейсмического воздействия карьерных и подземных взрывов на прикарьерный массив; сложные условия проветривания горных выработок.

Для открыто-подземной разработки месторождений характерен ряд особенностей, определяющих условия ведения горных работ.

Первое – под влиянием подземных работ вероятны сдвижения пород и проседание поверхности. Одно из условий выбора систем подземной разработки при совместных работах – необходимость постоянного и временного сохранения устойчивости массива. Выбор системы разработки зависит от конкретных горно-геологических условий и возможности обеспечения надежной гарантии безопасности работ.

Второе – взаимное влияние взрывных работ в карьере и на подземном руднике вносит ограничения и должно учитываться при составлении планов, расчете паспортов БВР.

Третье – совместная технология ведения подземных и открытых работ требуют особой организации труда на карьерных рудоспусках под землей и на дренажных работах.

Четвертое – высокая ответственность и сложность решения геомеханических задач предполагают: расчет параметров безопасных берм между открытыми и подземными работами; оценку толщины потолочины над отдельными участками выработанного пространства; расчет параметров опорных целиков и прочности твердеющей закладки; определение допустимой площади горизонтального обнажения кровли очистного пространства; оценку устойчивости подрабатываемых подземными выработками бортов карьера.

Преимущественная область применения комплексного открыто-подземного способа – протяженные крутопадающие месторождения с однородным характером оруденения. Основными факторами, влияющими на выбор конкретной технологической схемы, являются мощность залежи, ценность руды и устойчивость массива. Сложность решения геомеханических задач определяет основные факторы выбора открыто-подземной технологии – состояние очистного пространства и способ управления состоянием массива.

В настоящее время в большинстве методов оценки устойчивости откосов учитываются только сопоставляющие напряжений, обусловленные действием гравитационных сил, а предельную высоту откоса находят решением уравнения равновесия удерживающих и сдвигающих сил по выбранной поверхности скольжения в вертикальной плоскости. Значение коэффициента устойчивости борта зависит от наличия в массиве пород природных тектонических сил, соотношения упругих характеристик пород, слагающий горный массив, соотношения геометрических размеров карьера.

Современное состояние горнодобывающей промышленности характеризуется преимущественным развитием крупномасштабных открытых горных работ. Площадь нарушенных ими земель в стране оценивается в огромных цифрах, порядка 1 млн га. Это приводит к большому экономическому ущербу и обострению экологической обстановки в регионах развитого горнопромышленного производства.

Дальнейшее развитие открытого способа разработки, особенно в центральных и южных районах страны, будет связано с продолжением изъятия ценных земель. Одновременно с увеличением глубины карьеров происходит прогрессивный рост объемов вскрыши и себестоимости добычи руды.

Важным направлением развития добычи полезных ископаемых, позволяющим уменьшить влияние указанных негативных факторов и повысить эффективность горных работ, является комплексное освоение недр. Один из путей реализации этого направления состоит в наиболее эффективном сочетании (комплексе) различных технологии и техники в процессе эксплуатации месторождения [60].

Сочетание указанных элементов в единой технологической схеме легло в основу комплексного открыто-подземного способа разработки месторождений, идея которого была предложена коллективом ученых под руководством проф., д.т.н. В. И. Терентьева [63].

При этом способе, когда открытые горные работы достигают конечной проектной глубины (рисунок 1.29, а) на одном из флангов месторождения, они продолжают развиваться в горизонтальном направлении к центру залежи. После того, как рабочий борт карьера продвинется на 150–200 м, в непосредственной близости от торцевой части нерабочего борта проходят восстающий, который соединяет дно карьера с предварительно оформленными выработками подземного горизонта. Серией вертикальных скважин восстающий расширяют в отрезную щель, располагаемую в крест простирания рудного тела на всю его мощность. Нижележащую толщу (открыто-подземный ярус) обрушивают на всю высоту со дна карьера и обрушают вслед за продвижением фронта открытых работ с последующей выдачей рудной массы через подземные выработки. Запасы более глубоких горизонтов отрабатывают подземным способом этажно-камерной системой или системой этажного принудительного обрушения. Таким образом, создается единое выработанное пространство карьера, открыто-подземного яруса и подземных горных работ. Оно используется в качестве емкости для размещения внутренних отвалов, которые, обеспечивая пригрузку бортов выработанного пространства, повышают их устойчивость.

На вновь осваиваемых месторождениях оказывается возможным вскрывать рудные горизонты карьера комплексом подземных выработок, используемых и при отработке открыто-подземного яруса. Благодаря этому нерабочий борт освобождается от транспортных коммуникаций для его использования при формировании внутренних отвалов.

Комплексный открыто-подземный способ применим также на действующих карьерах, где выполнение плановых объемов добычи сдерживается отставанием вскрышных работ и отсутствием площадей для размещения внешних отвалов. В этом случае могут

быть пересмотрены проектные границы карьера и обеспечены благоприятные условия для более раннего перехода на подземную разработку.

При свободном выпуске руды максимальная высота открыто-подземного яруса определяется безопасными углами откоса бортов при мощности залежи до 150–180 м. При большей мощности высота открыто-подземного яруса определяется технологическими факторами, в частности, возможностями буровой техники. При постоянном заполнении выработанного пространства горной массой максимальная высота яруса ограничивается условиями отбойки в зажатой среде в пределах 70–90 м.

Установлено, что на новом месторождении верхнюю границу открыто-подземного яруса целесообразно располагать на уровне предельной глубины карьера, обоснованной известными методами без учета особенностей открыто-подземной разработки. В условиях эксплуатируемого месторождения при отставании вскрышных работ и усилении требований к охране окружающей среды открыто-подземный ярус целесообразно располагать частично в пределах запасов, расположенных в контурах карьера, с уменьшением предельной глубины последнего.

Технологические варианты с постоянным заполнением выработанного пространства горной массой и выпуском руды под налегающими породами внутреннего отвала обеспечивают наибольшую эффективность освоения месторождений при максимально допустимой высоте открыто-подземного яруса, располагаемого ниже предельной границы открытых работ.

Таким образом, проведенными исследованиями и проектными проработками установлено, что комплексный открыто-подземный способ разработки крепких руд является перспективным направлением освоения недр. В соответствующих горно-геологических и горнотехнических условиях он позволяет:

- уменьшить ареал нарушения окружающей природной среды за счет сокращения объемов внешнего отвалообразования;
- в значительной мере компенсировать снижение объемов добычи руды при отработке глубоких горизонтов карьеров;
- снизить общие объемы вскрыши в контуре карьера вследствие отработки глубоких горизонтов одним высоким уступом без дополнительного разноса бортов;
- использовать общие схемы вскрытия глубоких горизонтов карьера и подземных рудников.

Комбинированная геотехнология позволяет выявить основные направления реализации идеи комплексного освоения недр в области открыто-подземной разработки. К ним относятся: сочетание технологических элементов, открытых и подземных горных работ на стадии очистной выемки, совместное использование открытых и подземных горных выработок для транспортирования руды, использование единого выработанного пространства открытых и подземных горных работ для размещения вскрыши. При комплексном открыто-подземном способе реализуются все три указанных направления, однако они могут развиваться и независимо в более широком диапазоне горно-геологических условий. Поэтому важной задачей дальнейших исследований следует считать разработку новых технологических решений и обоснование принципов их проектирования в рамках рассмотренных перспективных направлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каплунов Д. Р., Шубодеров В. И. Перспективы разработки рудных месторождений комбинированным способом // Горный журнал. 1997. № 8.
2. Каплунов Д. Р., Калмыков В. Н., Рыльникова М. В. Комбинированная геотехнология. М.: Изд-во «Руда и металлы», 2003.

ПОДДЕРЖАНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ДВУХШАРНИРНЫМИ РАМНО-АНКЕРНЫМИ КРЕПЯМИ

ВОЛКОВ М. Н., ПОТАПОВ В. Я., ПОТАПОВ В. В.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

Аннотация. На основе выполненного анализа методик расчета рамно-анкерной крепи с применением наиболее рациональных видов управляющих силовых воздействий установлено, что расчетные схемы не полностью отражают особенности механизма их работы. В статье изложена принципиально новая схема и методика расчета крепи с использованием системы канонических уравнений метода сил, в которой учтен опыт предыдущих исследований в данной области. Также определены рациональные параметры для поддержания горных выработок.

Ключевые слова: методика, рамно-анкерная крепь, анкер, канонические уравнения, проходка, угольный пласт.

MAINTENANCE OF MINE WORKINGS WITH DOUBLE-HINGED FRAME-ANCHOR FASTENERS

VOLKOV M. N., POTAPOV V. Ya., POTAPOV V. V.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

Abstract. Based on the analysis of the methods of calculating the frame-anchor support with the use of the most rational types of control force actions, it was found that the design schemes do not fully reflect the features of the mechanism of their work. The article presents a fundamentally new scheme and methodology for calculating the support using a system of canonical equations of the force method, which takes into account the experience of previous research in this field. Rational parameters for maintaining mine workings have also been determined.

Keywords: Methodology, frame-anchor support, anchor, canonical equations, sinking, coal seam.

Повышение устойчивости горных выработок является одной из важнейших задач при подземной разработке месторождений полезных ископаемых. При разработке угольных месторождений только на шахтах ежегодно проходятся сотни километров горизонтальных и наклонных горных выработок (2015 г. – 938,9 км, 2016 г. – 1050,7 км). Удельная протяженность поддерживаемых горных выработок составляла от 92,1 до 103,7 м на 1000 т годовой добычи. Металлическая крепь является основным видом крепи горизонтальных и наклонных выработок угольных шахт. В настоящее время металлическими крепями в России крепится более 80 % всех протяженных выработок, причем имеется явная тенденция к росту общей протяженности выработок с металлической крепью.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что проблема повышения устойчивости горизонтальных и наклонных выработок является актуальной.

В практике используется несколько методов расчета рамных крепей с применением наиболее рациональных видов управляющих силовых воздействий изложенных в следующих работах [1].

Рассмотренные расчетные схемы не полностью отражают особенности механизма работы рамно-анкерной крепи с механической связью между рамой крепи и анкерами как единой системы. Поэтому в УГГУ разработана принципиально новая схема расчета крепи [7, 8], в которой учтен опыт предыдущих исследований в данной области.

Расчет рамно-анкерной крепи (двухшарнирной арочной крепи с механической связью между рамой крепи и анкерами) производится методом сил. В общем случае рамно-анкерная крепь является n раз статически неопределимой системой, в которой усиливающие анкера выполняют роль дополнительных опорных связей. Расчетная схема крепи представлена на рис.1 (этапы I и II). Степень статической неопределимости конструируемой рамно-анкерной крепи определяется следующим выражением:

$$n = 1 + k + l + m, \quad (1)$$

где k – количество связей (анкеров), установленных на стойке АВ;

l – количество связей, установленных в своде на участках ВС и CD;

m – количество связей, установленных на стойке DE.

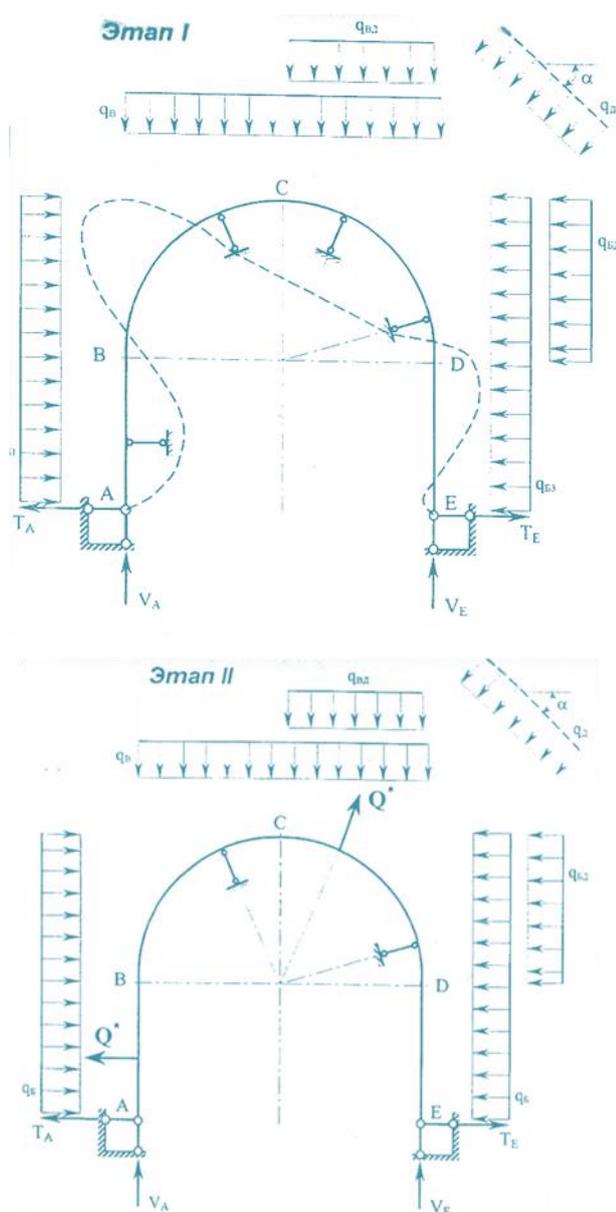


Рис. 1. Расчетная схема рамно-анкерной крепи

$$M_1^{CD} = H - R + R \sin \varphi, \quad \pi/2 < \varphi \leq \pi; \quad (8)$$

$$M_1^{DE} = H - R - y, \quad 0 < y \leq H - R. \quad (9)$$

Реакции в опорах арки от силы $X_i = 1$ ($i \neq 1$) определяются следующими выражениями:

при расположении силы X_i в стойке

$$T_{Ai} = 1; \quad (10)$$

$$V_{Ai} = V_{Ei} = h_i/2R; \quad (11)$$

при расположении силы X_i в своде

$$T_{Ai} = -\cos\alpha_i; \quad (12)$$

$$V_{Ei} = \frac{R \sin \alpha_i(1 - \cos\alpha_i) + \cos\alpha_i (H - R + R \sin \alpha_i)}{2R}; \quad (13)$$

$$V_{Ai} = \sin \alpha_i - V_{Ei}. \quad (14)$$

Определение величины изгибающего момента M_i от действия силы X_i ($i \neq 1$) в связи с относительно сложной конфигурацией арки ведется по отдельным участкам. В зависимости от места расположения i -го усиливающего анкера расчет M_i ведется по различным расчетным формулам.

Усиливающий анкер в стойке АВ:

$$M_i^{AA'} = -y, \quad 0 \leq y \leq h_i; \quad (15)$$

$$M_i^{A'B} = -h_i, \quad h_i \leq y \leq H - R; \quad (16)$$

$$M_i^{BC} = -h_i + V_{Ai}R(1 - \cos\varphi), \quad 0 < \varphi \leq \pi/2; \quad (17)$$

$$M_i^{CD} = -h_i + V_{Ai}R(1 - \cos\varphi), \quad \pi/2 < \varphi \leq \pi; \quad (18)$$

$$M_i^{DE} = 0, \quad 0 < y \leq H - R. \quad (19)$$

Усиливающий анкер в своде на участке ВС:

$$M_i^{AB} = T_{Ai} y, \quad 0 \leq y \leq H - R; \quad (20)$$

$$M_i^{BB'} = T_{Ai} (H - R + R \sin\varphi) - V_{Ai} R (1 - \cos\varphi), \quad 0 < \varphi \leq \alpha_i; \quad (21)$$

$$\begin{aligned} M_i^{B'C} = & T_{Ai} (H - R + R \sin\varphi) - V_{Ai} R (1 - \cos\varphi) + \\ & + R \sin \alpha_i(\cos\alpha_i - \cos\varphi) + \\ & + R \cos\alpha_i(\sin \varphi - \sin \alpha_i), \quad \alpha_i < \varphi \leq \pi/2; \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} M_i^{CD} = & T_{Ai} (H - R + R \sin\varphi) - V_{Ai} R (1 - \cos\varphi) + \\ & + R \sin \alpha_i(\cos\alpha_i - \cos\varphi) + \\ & + R \cos\alpha_i(\sin \varphi - \sin \alpha_i), \quad \pi/2 < \varphi \leq \pi; \end{aligned} \quad (23)$$

$$M_i^{DE} = T_{Ai} (H - R - y) - 2R V_{ai} + R \sin \alpha_i (1 + \cos \alpha_i) - \cos \alpha_i (R \sin \alpha_i + y), 0 \leq y \leq H - R. \quad (24)$$

Усиливающий анкер в своде на участке CD:

$$M_i^{AB} = y, 0 \leq y \leq H - R; \quad (25)$$

$$M_i^{BC} = T_{Ai}(H - R + R \sin \varphi) - V_{Ai}R(1 - \cos \varphi), 0 < \varphi \leq \pi/2; \quad (26)$$

$$M_i^{CC'} = T_{Ai}(H - R + R \sin \varphi) - V_{Ai}R(1 - \cos \varphi), \pi/2 < \varphi \leq \alpha_i; \quad (27)$$

$$M_i^{C'D} = T_{Ai}(H - R + R \sin \varphi) - V_{Ai}R(1 - \cos \varphi) + R \sin \alpha_i (\cos \alpha_i - \cos \varphi) + R \cos \alpha_i (\sin \varphi - \sin \alpha_i), \alpha_i < \varphi \leq \pi; \quad (28)$$

$$M_i^{DE} = T_{Ai} (H - R - y) - 2R V_{ai} + R \sin \alpha_i (1 + \cos \alpha_i) - \cos \alpha_i (R \sin \alpha_i + y), 0 \leq y \leq H - R. \quad (29)$$

Усиливающий анкер в стойке DE:

$$M_i^{AB} = y, 0 \leq y \leq H - R; \quad (30)$$

$$M_i^{BC} = T_{Ai}(H - R + R \sin \varphi) - V_{Ai}R(1 - \cos \varphi), 0 < \varphi \leq \pi/2; \quad (31)$$

$$M_i^{CD} = T_{Ai}(H - R + R \sin \varphi) - V_{Ai}R(1 - \cos \varphi), \pi/2 < \varphi \leq \pi; \quad (32)$$

$$M_i^{DD'} = T_{ai}(H - R - y) - 2V_{ai} R, 0 \leq y \leq H - R - h_i; \quad (33)$$

$$M_i^{D'E} = 0, H - R - h_i \leq y \leq H - R. \quad (34)$$

Значения изгибающих моментов от действия внешней нагрузки M_P^{AB} , M_P^{BC} , M_P^{CD} , M_P^{DE} вычисляются по формулам так же, как при расчете арочной крепи:

$$M_P^{AB} = T_A y + 0,5q_B y^2; \quad (35)$$

$$M_P^{BC} = T_A (H - R + R \sin \varphi) - V_A R (1 - \cos \varphi) + 0,5q_B (H - R + R \sin \varphi)^2 + 0,5q_B (R - R \cos \varphi)^2; \quad (36)$$

$$M_P^{CD} = T_A (H - R + R \sin \varphi) - V_A R (1 - \cos \varphi) + q_B H (0,5H - R + R \sin \varphi) + 0,5q_B (R - R \cos \varphi)^2 + 0,5(q_{вд} + q_B) R^2 (1 - \sin \varphi)^2; \quad (37)$$

$$M_P^{DE} = 0,5q_B (H - R - y)^2. \quad (38)$$

Вычислив коэффициенты, решаем систему канонических уравнений, из которой определяем значения лишних неизвестных X_i . Полученные значения X_i , кроме X_1 , сравниваются с предельной нагрузкой P_i [7]. Если хотя бы для одного значения X_i будет справедливо неравенство $X_i > P_i$, то необходимо переходить ко II этапу расчета рамно-анкерных крепей.

На II этапе те опорные связи, для значений лишних неизвестных в которых выполняется неравенство $X_i > P_i$, в расчетной схеме заменяются действием сосредоточенных сил P_i . При этом из системы канонических уравнений метода сил исключается i -ое уравнение, и в то же время вносятся соответствующие изменения в уравнения моментов от внешней нагрузки M_p (35-38).

Оценка несущей способности рамно-анкерной крепи рассмотрим на примере расчета эпюры изгибающих моментов в арочной крепи, усиленной одним, двумя и тремя анкерными соединительными узлами при параметрах крепи и внешней нагрузке, принятых в п.2.1.2 (высота выработки $H = 3,5$ м, радиус свода $R = 2,4$ м, шаг установки рам $L = 1$ м; нагрузка на крепь: при симметричном нагружении рамы крепи - $q_B = 75,8$ кН/м, $q_B = 37,4$ кН/м; при асимметричном - $q_B = 57,0$ кН/м, $q_B = 28,0$ кН/м; $q_D = 40$ кН/м; угол падения пород $\alpha = 20^0$).

Выводы

1. Рамно-анкерные крепи необходимо рассчитывать как системы с лишними односторонними связями.

2. Рамно-анкерные крепи в общем случае рассчитываются в два этапа. На этапе I в расчетной схеме анкерные соединительные узлы представляются в виде жестких опорных связей, работающих только на растяжение; на этапе II в случае, если реакции в опорных связях превысят несущую способность соединительного узла, в расчетной схеме их действие заменяют сосредоточенными силами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корнилов М. В., Пяткова В. Б., Потапов В. В. Методика расчета двухшарнирной рамно-анкерной крепи // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: VI Международная научно-техническая конференция (г. Екатеринбург, 18–19 апреля 2017 г.; Уральская горнопромышленная декада, г. Екатеринбург, 17–26 апреля 2017 г.: сборник докладов / оргкомитет: Н. Г. Валиев (отв. за выпуск) и др.; Урал. гос. горный ун-т. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. С. 269–275
2. Сергеев С. В. Передача напряжений в комбинированной крепи стволов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2006. № 5. С. 220–223.
3. Пашкова О. В. изменение напряжений в крепи при сооружении приствольных выработок из пройденного шахтного ствола // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 4. С. 43–45.
4. Баклашов И. В., Картозия Б. А. Механика подземных сооружений и конструкций крепей М.: Студент, 2012. 542 с.
5. Литвинский Г. Г. Фисенко Э. В. Исследование и оптимальное проектирование стальных арочных крепей // Сб. науч. тр. Алчевск: ДонГТУ, 2012. Вып. 37. С. 50–63.
6. Вандышев А. М., Афанасенко Е. П. Выбор способов поддержания выработок с учетом развития геомеханических процессов вокруг них // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: VI Международная научно-техническая конференция (г. Екатеринбург, 18–19 апреля 2017 г.; Уральская горнопромышленная декада, г. Екатеринбург, 17–26 апреля 2017 г.): сборник докладов / оргкомитет: Н. Г. Валиев (отв. за выпуск) и др.; Урал. гос. горный ун-т. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. С. 265–269.
7. Корнилов М. В. Управление напряженно-деформированным: дис. ... д-ра техн. наук. Свердловск, 1999. 253 с.
8. Кириченко В. Я., Кириченко А. В. Рамные крепи для широкого спектра горно-геологических условий современных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № 4. С. 23–28.
9. Barczak T. M. An overview of standing roof support practices and developments in the United States // Proceedings of 19th International Conference on Ground Control in Mining. 2005. P. 1–34.
10. Barczak T. M. NIOSH safety performance testing protocols for standing roof supports and longwall shields. US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, IC 9453, 2000. P. 207–223.
11. Prusek S. Review of support systems and methods for prediction of gateroads deformation. New Techniques and Technology in Mining – Taylor & Francis Group. London, 2014. P. 25–35.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ОЦЕНКИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ГОРНОГО МАССИВА ПРИ ВЕДЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

ВАЛИЕВ Н. Г., ШНАЙДЕР И. В., АБДРАХМАНОВ М. И., ПАТРУШЕВ Ю. В.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

Аннотация. В статье рассматривается применение сейсмического метода для прогнозирования состояния горного массива в процессе ведения горных работ. Метод основан на регистрации отраженных сигналов с использованием импульсных или кодоимпульсных источников. Предложенный метод позволяет обнаружить зоны нарушения горного массива, оценить упругие свойства и прогнозировать зоны водопроявления. Разработана техническая система "Микон-ГЕО", которая успешно применяется в шахтной сейсморазведке. Система обеспечивает трехмерное представление распределения различных параметров в горном массиве и применяется для обеспечения безопасности ведения горных работ в угольных шахтах. Она может использоваться для проектирования крепления горных выработок.

Ключевые слова: зондирование, подземные работы, автоматическая обработка сейсмоданных, текущий контроль состояния горного массива, угольный пласт, угольная шахта, сейсмические методы, рудник.

EXPERIENCE OF USING A SEISMIC SOUNDING SYSTEM IN SOLVING PROBLEMS OF ASSESSING THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF A MOUNTAIN MASSIF DURING UNDERGROUND MINING OPERATIONS

VALIEV N. G., SCHNEIDER I. V., ABDRAKHMANOV M. I., PATRUSHEV Yu. V.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

Abstract. The article discusses the application of seismic methods for predicting the condition of a rock mass during mining operations. The method is based on the registration of reflected signals using impulse or coded impulse sources. The proposed method allows for the detection of areas of rock mass disruption, evaluation of elastic properties, and prediction of water-bearing zones. A technical system called "Mikon-GEO" has been developed and successfully applied in mining seismology. The system provides a three-dimensional representation of the distribution of various parameters in the rock mass and is used to ensure the safety of mining operations in coal mines. It can also be used for designing the reinforcement of underground excavations.

Keywords: Reflection seismic surveying, underground work, automatic processing of seismic data, current monitoring of the state of the rock mass, coal seam, coal mine, pit.

Введение

На этапе строительства транспортных тоннелей в г. Сочи в 2012 г. возникла проблема выбора геофизического метода, осуществляющего прогноз структуры и свойств горного массива, влияющих на внезапное изменение инженерно-геологических условий горного массива в ближней зоне при производстве проходческих работ. Наибольшую

опасность представляли области внезапной потери устойчивости, связанные с ними вывалы и зоны водопритока. Профессором В. Б. Писецким (ФГБОУ ВО «УГГУ») была предложена идея применения сейсмического метода [3, 4], основанного на поляризационном принципе регистрации сигналов отраженных волн с использованием источников импульсного или кодоимпульсного типов. Предложенная идея была выбрана из множества прочих геофизических методов руководством организации, осуществляющей проходческие работы, и стала основной. В течение последующих двух лет идея получила развитие и сегодня применяется как один из основных геофизических методов для решения задач шахтной сейсморазведки.

Метод

Применяемый в настоящее время метод, включающий в себя определенные процедуры сбора, обработки и интерпретации сейсмоданных, был впервые опробован в задаче опережающего прогноза состояния горного массива при проходке транспортных тоннелей. С 2016 г. техническая система, реализующая данный метод, применяется для определения местоположения зон повышенного разуплотнения горного массива и областей флюидонасыщения в угольных шахтах и рудниках, опасных по газу и пыли. Метод основан на поляризационном принципе регистрации сигналов отраженных волн с использованием источников импульсного (кувалда, сейсморужье, взрывы в шпурах) или кодоимпульсного типов (роторов проходческих или добычных комбайнов). Подобные источники обеспечивают дальность «обзора» массива до 200 м. Система регистрации упругих волн предполагает регулярное или произвольное размещение трехкомпонентных геофонов на груди или стенках забоя выработки и регулярное или произвольное положение источника упругих колебаний, определяемое ограничениями, связанными с технологией производства работ. Благодаря использованию 3D сейсмодатчиков и их пространственному расположению на плоскости забоя, а также оригинальному графу обработки полученных сейсмограмм, синтезируется трехмерное (см. рис. 1) представление распределения значений различных расчетных параметров («Уровень разуплотнения, у.е.», «Вероятность водопроявления, %», « V_p , м/с», «Коэффициент Пуассона», «Модуль Юнга, ГПа») в исследуемой области горного массива (цифровая модель). В настоящее время ведутся научно-исследовательские работы по пересчету параметра «Уровень разуплотнения» в количество трещин с интервала, определяемое методом отбора ориентированного керна.

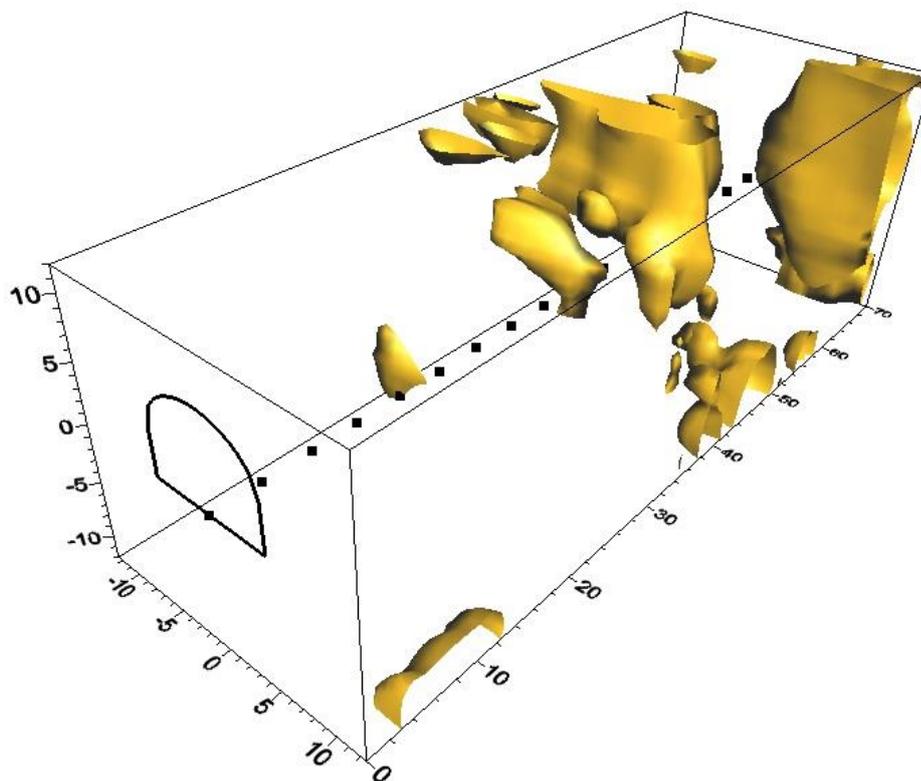


Рис. 1. Пример распределения значений параметра «Уровень разуплотнения» в исследуемой области в виде изоповерхностей

Научно-производственными предприятиями ООО «СибГеофизПрибор» и ООО «ИНГОРТЕХ» разработана взрывозащищенная версия аппаратуры для применения в шахтах и рудниках опасных по газу и пыли, согласно действующему Техническому регламенту Таможенного союза «О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах» (ТР ТС 012/2011) под названием «Микон-ГЕО». В настоящее время организован серийный выпуск этой аппаратуры, применяемой для обеспечения безопасности ведения горных работ в угольных шахтах [1, 2]. Экспортная версия аппаратуры в общепромышленном исполнении выпускается под аббревиатурой TGS-360Pro (см. рис. 2).

«Микон-ГЕО» – комплекс для сейсмического исследования структуры и параметров горного массива на дистанции 5-200 м от места расположения сейсмодатчиков. Он обнаруживает субвертикальные зоны нарушения сплошности горного массива, оценивает упругие модули (модуль Юнга, коэффициент Пуассона), прогнозирует местоположение зон водопроявления путем выделения зон дезинтеграции горного массива с высоким риском водонасыщения, и оценивает устойчивость горных пород для строительства. Он может быть применен для проектирования крепления горных выработок после тарирования на конкретном объекте на всей прогнозируемой дистанции.



Рис. 2. Экспортный вариант исполнения аппаратуры «Микон-ГЕО»

Апробация метода

Опытная эксплуатация метода и аппаратуры с 2016 года проводилась на рудниках ПАО «ГМК «Норильский никель», АК «Алроса» (ПАО), ПАО «Северсталь», АО «ТНК «Казхром» ОАО «УГМК», транспортных тоннелях КНР и угольных шахтах Вьетнама [2].

В условиях рудника «Скалистый» ПАО «ГМК «Норильский никель» были выполнены испытания метода в решении задач уточнения размеров и местоположения области риска внезапной потери устойчивости горного массива в зоне влияния Норильско-Хараелахского разлома [5]. Зондирование проводилось в борт горной выработки в направлении предполагаемого местоположения разлома. Сейсмоприемники в количестве восьми штук были расставлены в два ряда по четыре штуки, а возбуждение упругой волны осуществлялось ударами кувалды. Регистрация отраженных волны выполнялась сейсмостанцией, а обработка и формирование моделей – на персональном компьютере по выходу на поверхность. Подробно результаты исследований описаны в статье [5]. Следует отметить, что по факту заверки, ошибка определения местоположения разлома системой «Микон-ГЕО» составила около 3 м.

Промышленная эксплуатация проводилась при строительстве транспортных тоннелей дублера Курортного проспекта в г. Сочи, железнодорожного тоннеля в г. Керчь, угольных шахтах Кузбасса.

Заключение

Обобщая полученный за несколько лет опыт внедрения метода и аппаратуры «Микон-ГЕО» в условиях угольных и рудных шахт, можно сделать вывод, что комплекс показал себя:

- технологичным – цикл полевых работ и камеральной обработки данных занимает около 8 часов;
- надежным и удобным в эксплуатации – за период применения системы с 2014 года по настоящий момент были внесены минимальные доработки в конструкцию сейсмоприемников, необходимые для замены прижимной рессоры в полевых условиях;
- эффективным в задачах обнаружения зон водопитока, погашенных выработок, уточнения плоскости тектонических нарушений, оценки влияния взрывных работ и гидрорыхления на структуру массива.

Развитие методик и применение систем сейсморазведки в условиях разработки подземных месторождений позволит увеличить эффективность работ за счет сокращения времени простоев, связанных с ликвидацией последствий внезапной потери устойчивости горного массива, выбросов газа и породы, вскрытия зон водопритока и других опасных явлений, сопровождающих добычу полезных ископаемых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Писецкий В. Б., Власов В. В., Черепанов В. П., Абатурова И. В., Зудилин А. Э., Патрушев Ю. В., Александрова А. В. Прогноз устойчивости горного массива на основе метода сейсмической локализации в процессах строительства подземных сооружений // 10-я научно-практическая конференция и выставка EAGE по инженерной геофизике 2014 г. (Геленджик, Россия, 21–25 апр. 2014 г.). 2014. № 7. С. 46–51. <http://dx.doi.org/10.3997/2214-4609.20140368>
2. Писецкий В. Б., Лапин С. Э., Зудилин А. Э., Патрушев Ю. В., Шнайдер И. В. Методика и результаты промышленного применения системы сейсмического контроля состояния горного массива «Микон-Гео» в процессе подземной разработки рудных и угольных месторождений // Информационные технологии в горном деле: III Всероссийская научная конференция с международным участием: сб. докл. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2015.
3. Biot M. A. Mechanics of incremental deformations. New York: GU, 1965.
4. Pisetski V., Kormilcev V., Ratushna A. Method for predicting dynamic parameters of fluids in a Subterranean reservoir. US Patent, 2002. № 6, 498, 989 B1.
5. Сергунин М. П., Дарбинян Т. П., Костенко И. А., Кузьмин С. В. Выполнение геофизических исследований на Талнахском и Октябрьском месторождениях сейсмическим методом // Горный журнал. 2021. № 2 С. 11–15.

ХАРАКТЕР, МАСШТАБЫ ОПАСНОСТИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖАЙСАН

БЕКМАГАМБЕТОВ А. Б., БАИЗБАЕВ М. Б.

Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан, Астана

Аннотация. Характер и масштабы опасности опасного производственного объекта основан на выявлении техногенных и природных опасностей, анализе технических решений по предупреждению возникновения и развития чрезвычайных ситуаций; оценке риска возникновения аварий.

Ключевые слова: техника безопасности и охрана труда, пожарная безопасность, риск аварий, промышленный объект.

THE NATURE, EXTENT OF THE DANGER AND TECHNICAL SOLUTIONS TO ENSURE THE SAFETY OF THE ZHAYSAN FIELD

BEKMAGAMBETOV A. B., BAIZBAYEV M. B.

Republican Research Institute for Labor Protection of the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan, Astana

Abstract. The nature and scale of the danger of a hazardous production facility is based on the identification of man-made and natural hazards, analysis of technical solutions to prevent the occurrence and development of emergency situations; assessment of the risk of accidents.

Keywords: safety and labor protection, fire safety, accident risk, industrial facility.

Месторождение Жайсан располагается в Жамбылской области в 250 км северо-восточнее областного центра г. Тараз, в 55 км на юго-восток от районного центра с. Толеби и в 53 км на юго-восток от г. Чу.

Декларация промышленной безопасности к проекту «План горных работ отработки запасов месторождения Жайсан» разработана в целях обеспечения контроля за соблюдением мер безопасности, оценки достаточности и эффективности мероприятий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на промышленном объекте.

Характер и масштабы опасности опасного производственного объекта основан на выявлении техногенных и природных опасностей, анализе технических решений по предупреждению возникновения и развития чрезвычайных ситуаций; оценке риска возникновения аварий.

К особо опасным производствам и факторам в основном относятся:

1. Горные, буровые и взрывные работы в подземных условиях, погрузочно-разгрузочные работы, транспортировка горной массы, связанная с образованием и выделением в атмосферу в значительных количествах пыли.

2. Оксид углерода, диоксид азота, альдегиды, содержащиеся в выхлопных газах от дизельных двигателей автомашин.

3. ГСМ, сопровождающиеся выделением паров нефтепродуктов в атмосферу. Основную часть выбросов (более 90 % по массе) ГСМ составляют предельные углеводороды (пожароопасное производство).

4. Транспортировка, хранение и использование легковоспламеняющихся горючесмазочных материалов.

5. Эксплуатация грузоподъемных механизмов, сосудов и электроустановок.

С целью подготовки персонала к действиям в аварийных ситуациях, на предприятии будут проводиться следующие курсы противоаварийной подготовки:

– по оказанию первой доврачебной помощи пострадавшим при авариях и несчастных случаях;

– по правилам безопасности при ведении взрывных работ;

– по правилам пользования первичными средствами пожаротушения;

– по правилам безопасности при работе с ГСМ;

– по правилам безопасности при работе дробильно-дозаторного комплекса;

– 40 часовая программа обучения промышленной безопасности.

Инженерно-технический персонал под руководством главного технического руководителя по охране труда является руководящим и контролирующим органом по проведению комплексных, профилактических и целевых проверок состояния противопожарной защиты, безопасности и охраны труда на рабочих местах, за соблюдением норм и требований промышленной и пожарной безопасности. На предприятии в обязательном порядке должен разрабатываться план ликвидации возможных пожаров и аварий, который должен предусматривать взаимодействие персонала и соответствующих специализированных служб. План разрабатывается на основе Закона РК «О гражданской защите» и нормативных документов по промышленной безопасности, действующих в РК.

Технические решения по обеспечению безопасности:

1) Решения по исключению разгерметизации оборудования и предупреждению выбросов опасных веществ.

Эксплуатация оборудования, механизмов, инструмента в неисправном состоянии или с неисправными устройствами безопасности (блокировочные, фиксирующие и сигнальные приспособления и приборы), а также при нагрузках и давлениях выше паспортных данных не допускается.

При взрывных работах исключить неосторожное обращение с ВМ для предотвращения нарушения целостности упаковок, возникновения и развития подземных пожаров.

Для предотвращения затопления горных выработок предусмотрено:

– два независимых подвода электроэнергии;

– водоотливные комплексы.

Для предотвращения обрушения кровли горных выработок и вывалов горной массы применяют крепление горных выработок.

На каждую проходимую выработку составляется паспорт буровзрывных работ и схема проветривания, утверждаемые главным инженером шахты, в котором указываются: тип и количество применяемого ВМ, способ взрывания, направление движения свежей и загрязнённой струи воздуха, места укрытия взрывников, посты охраны опасной зоны взрыва, места установки аншлагов, указывается время взрыва и особо отмечаются дополнительные мероприятия по Безопасности труда.

Для создания нормальных санитарно-гигиенических условий труда подземных рабочих предусматривается осуществление комплекса мероприятий по обеспыливанию рудничной атмосферы. Для осуществления мероприятий по комплексному обеспыливанию рудничной атмосферы проектом предусматривается применение технических средств регулирования воздуха и пылеподавления.

2) Решения, направленные на предупреждение и локализацию выбросов опасных веществ.

При возникновении пожара в горных выработках с пульта диспетчера рудника подаётся в шахту сигнал о возникновении аварии: частым миганием света, по телефону, селекторной связи. Получив сигнал об аварии, люди с самоспасателями по запасным выходам выходят на свежую струю воздуха и поднимаются на поверхность.

В целях обучения персонала рудника действиям при возникновении аварии совместно с ИВГСО проводятся тренировки.

При пожаре в воздухоподающих выработках предусмотрен реверс главной вентиляторной установки (ГВУ) с опрокидыванием воздушной струи в шахте.

Для обеспечения безопасной работы грузоподъемных механизмов и предупреждения аварийных ситуаций обслуживание ГПМ осуществляется обученным и аттестованным персоналом, производится регулярный контроль за безопасной эксплуатацией ГПМ, регулярно и своевременно проводится их техническое освидетельствование.

3) Решения по обеспечению взрывопожаробезопасности.

Для обеспечения режима пожарной безопасности при работе на горной самоходной технике должны быть разработаны противопожарные мероприятия по тушению пожаров и возгораний, а также профилактические мероприятия среди рабочих и служащих.

Противопожарные материалы для обеспечения противопожарной безопасности объектов и транспортных средств укомплектовываются согласно «Правилам пожарной безопасности, утвержденных Постановлением Правительства Республики Казахстан».

4) Описание систем автоматического регулирования, блокировок, сигнализации:

- пожарная сигнализация;
- сигнализация об аварии производится сиреной, радиотелефоном;
- диспетчерская оснащена средствами оповещения – радио- и телефонной связью;
- горные машины оборудованы звуковой сигнализацией;
- автосамосвалы оборудованы сигнализаторами заднего хода.

Грузоподъемные механизмы оборудованы приборами безопасности и блокировки в полном соответствии с «Правилами обеспечения промышленной безопасности при эксплуатации грузоподъемных механизмов».

Разработанные технические решения в целях обеспечения контроля за соблюдением мер безопасности, оценки достаточности и эффективности мероприятий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на промышленном объекте.

Проектируемое к отработке запасов месторождение меди «Жайсан» относится к опасным производственным объектам, идентифицированным по признакам хранения и использования взрывчатых веществ и горюче-смазочных материалов, ведения горных работ, представляющих опасность для окружающей среды.

Деятельность рудника связана с повышенной опасностью входящих в них производств, осуществляется в целях обеспечения контроля за соблюдением мер безопасности, оценки достаточности и эффективности мероприятий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на промышленном объекте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закон Республики Казахстан «О гражданской защите» № 188-V от 11.04.2014 г.
2. Закон Республики Казахстан «О безопасности машин и оборудования» № 305-III от 21.07.2007 г.
3. Правила пожарной безопасности, утвержденные Постановлением Правительства Республики Казахстан от 30 декабря 2011 года № 1682.
4. Правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов, ведущих взрывные работы. Астана, 2015 г.
5. Правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов, ведущих горные и геологоразведочные работы. Астана, 2015 г.
6. Декларация промышленной безопасности к проекту «План горных работ отработки запасов месторождения Жайсан» П-20А-04/03-ПЗ. 2020. Т. 10.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЕДЕНИЯ НАБРЫЗГБЕТОННЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

АНТОНОВ Л. А.

Научно-исследовательский и проектный институт ОАО «Уралмеханобр», Екатеринбург

Аннотация. Обеспечение устойчивости подземной горной выработки является важнейшей научной и практической задачей горного дела. Данная задача может быть решена при помощи выбора оптимальных параметров крепления на стадии проекта, совершенствования технологии производства работ на предприятии и формировании единого нормативного документа, регламентирующего требования к испытаниям и приемке различных видов и материалов крепи.

Ключевые слова: крепление горных выработок, химические добавки, набрызгбетон, сухой метод торкретирования, мокрый метод торкретирования, прочностные характеристики бетона.

IMPROVING THE METHODS OF SPRAYED CONCRETE WORK IN UNDERGROUND MINING

ANTONOV L. A.

Research and Design Institute OJSC «Uralmekhanobr», Ekaterinburg

Abstract. Ensuring the sustainability of underground mining is the most important scientific and practical task of mining. This problem can be solved by choosing the optimal fastening parameters at the project stage, improving the technology of work at the enterprise and forming a single regulatory document that regulates the requirements for testing and acceptance of various types and materials of lining.

Keywords: Mining support, chemical additives, sprayed concrete, dry shotcrete method, wet shotcrete method, concrete strength characteristics.

Обеспечение устойчивости подземной горной выработки является важнейшей научной и практической задачей горного дела. Данная задача может быть решена при помощи выбора оптимальных параметров крепления на стадии проекта, совершенствования технологии производства работ на предприятии и формировании единого нормативного документа, регламентирующего требования к испытаниям и приемке различных видов и материалов крепи.

Технология ведения бетонных работ за последние десятилетия не перестает развиваться и использоваться при креплении подземных горных выработок. Уже давно широко используется формирование бетонных конструкций методом торкретирования. Данный метод позволяет широко варьировать форму и толщину конструкций, исключать опалубочные работы и увеличивать скорость ведения работ, что является достаточно важным качеством для технологии, используемой при креплении подземных горных выработок.

Набрызгбетонная крепь представляет собой бетонную оболочку (мелкозернистый вид бетона) толщиной слоя два и более сантиметров, повторяющую своей формой очертание контура горной выработки и упрочняющей породные обнажения. Бетонное

покрытие, образуемое в результате торкретирования, называется набрызгбетоном. В зависимости от своей толщины, данная крепь может использоваться как изолирующая, так и грузонесущая конструкция.

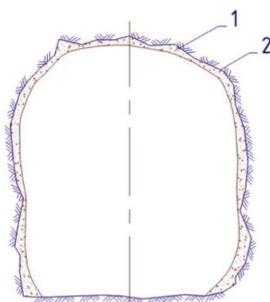


Рис. 1. Набрызгбетонная крепь:
1 – набрызгбетон; 2 – контур выработки

На сегодняшний день известно два способа возведения набрызгбетонной крепи: сухой способ торкретирования и мокрый.

При возведении набрызгбетонной крепи сухим способом в состав работ входят следующие основные операции: дозировка и приготовление сухой смеси на бетонно-растворном узле; загрузка бетономашинной сухой смесью; подтягивание подающего шланга к месту нанесения набрызгбетона; подключение трубопровода с водой; нанесение набрызгбетона на поверхность выработки. Сухой способ торкретирования предусматривает подачу сжатым воздухом на сопло сухой смеси цемента с наполнителями и по отдельному шлангу – воды под большим давлением.

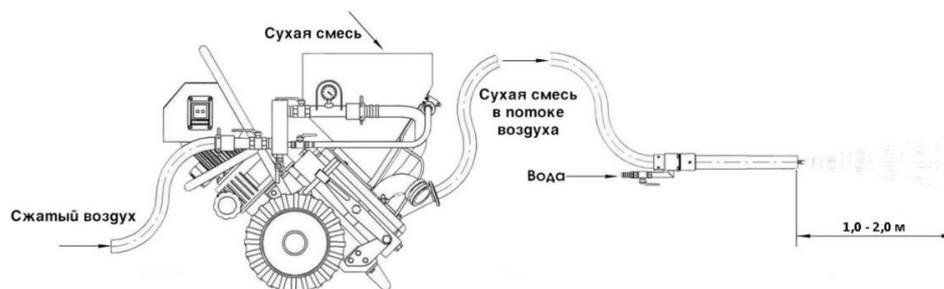


Рис. 2. Схема сухого способа торкретирования

При возведении набрызгбетонной крепи мокрым способом в состав работ входят следующие основные операции: дозировка компонентов смеси и воды на бетонно-растворном узле; загрузка смеси в миксер для перемешивания и доставки к месту производства работ; перегрузка смеси из миксера в приемный бункер торкрет-установки; нанесение набрызгбетона на поверхность выработки. Таким образом, при мокром способе торкретирования с помощью роторного или поршневого бетононасоса сплошным потоком на сопло подается уже готовая (затворенная) смесь из миксера.

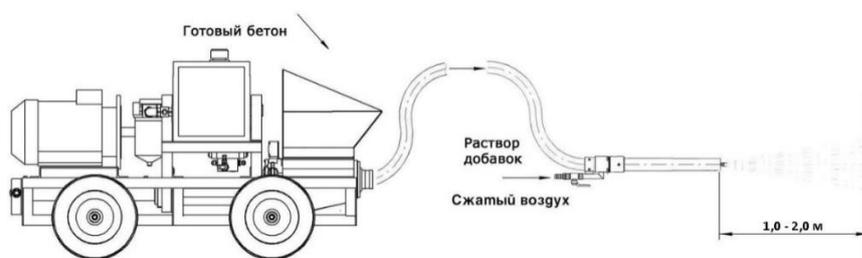


Рис. 3. Схема мокрого способа торкретирования

Наиболее распространенным является мокрый способ торкретирования, основное его преимущество заключается в большей производительности работ. Однако, у данного метода существуют свои технические сложности. Одним из узких мест при работе с мокрым методом является правильный подбор дозровок компонентов и правильный подбор химических добавок, позволяющих добиваться необходимых свойств бетонной смеси. Наиболее существенными при подборе будут являться следующие параметры: сохраняемость смеси, подвижность, плотность, цельность. Так, например, на некоторых рудниках доставка бетонной смеси с момента ее приготовления на бетонно-растворном узле до места производств работ может занимать до 4х часов, что существенно ограничивает виды используемых. Кроме живучести и подвижности бетонной смеси, в момент торкретирования она должна достаточно быстро схватываться, чтобы минимизировать величину отскока и исключить срывы с кровли и оплывы с боков выработки.

Наиболее распространенными в практике является использование пластифицирующих добавок и ускорителей схватывания. Наилучшим образом себя показывают нафталиносодержащие пластификаторы и бесщелочные ускорители схватывания.

Сами по себе химические добавки существуют достаточно давно и широко используются в промышленном строительстве. Однако, как правило, на строительных площадках применяются пески, имеющие стабильное качество, в то время как на рудниках используются отсева дробления, зачастую не обладающие равномерным гранулометрическим составом, обеспечивающем наилучшие показатели подвижности смеси и в последующем прочностные свойства бетона. Кроме этого, отсева дробления являются грубым инертным материалом, с острыми гранями и содержат лещадные частицы. Эти нюансы и создают сложность при правильном выборе дозровок компонентов и выборе химических добавок.

Менее распространенным способом является метод сухого торкретирования. Основными моментами, ограничивающими применение данного способа является малая производительность и большая запыленность на месте производства работ. Существует несколько вариантов работы с сухим способом торкретирования:

1) Применение сухой смеси из цемента и отсева без химических добавок – наиболее простой вариант, не требующий наличия дополнительного специального оборудования и оснащения. Существенным недостатком данного варианта является высокие потери смеси при торкретировании и нестабильность качества и характеристик готового бетона. Применение сухой смеси из цемента и отсева без химических добавок – наиболее простой вариант, не требующий наличия дополнительного специального оборудования и оснащения. Существенным недостатком данного варианта является высокие потери смеси при торкретировании и нестабильность качества и характеристик готового бетона.



Рис. 4. Установка Tormado AC-1

2) Применение сухой смеси из цемента и отсева с подачей жидкого ускорителя схватывания – улучшенный вариант, требующий покупку нового специального оборудования или дооснащения имеющегося (при технической возможности). Решение данной задачи может быть реализовано установкой насоса-дозатора перистальтического действия и включения его в цепь «рудничный водопровод – насос-дозатор – сопло торкретустановки.



Рисунок 5. Насос-дозатор добавок для сухого торкретирования

3) Применение готовых сухих смесей заводского изготовления, включающие в свой состав специально подобранную рецептуру с добавками, ускоряющими набор прочности на начальной стадии – наиболее дорогой вариант, но гарантированно обеспечивающий высокое качество набрызгбетона, простоту и удобство работы.

Для повышения качества работ по ведению торкретирования производятся опытно-промышленные испытания, которые включают в себя:

Лабораторный этап - определение основных свойств материалов, подбор дозировок компонентов и химических добавок, а также определение прочностных показателей изготавливаемого бетона.

Опытно промышленный этап – непосредственное опробование подобранной в лабораторных условиях бетонной смеси на месте работ. Оценивается качество нанесения, подвижность смеси, величина отскока при торкретировании, наличие срывов с кровли и оплывов с боков выработки, а также контроль прочностных свойств наносимого набрызга. Для контроля прочностных свойств оператор торкрет-установки производит торкретирование смесью в заранее подготовленный ящик, который в дальнейшем выдерживается в течение суток на шахте, а далее транспортируется в лабораторию, в которой происходит распиливание ящика на бетонные образцы-кубики и определение прочностных свойств.

Технология ведения работ по торкретированию существует давно и широко применяется на действующих рудниках, однако при производстве работ существуют технические особенности, учет которых обеспечит безопасность ведения горных работ с минимальными трудовыми и финансовыми затратами.

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДОБЫЧИ ОТ СРОКА ТВЕРДЕНИЯ ЗАКЛАДОЧНОЙ СМЕСИ В УСЛОВИЯХ НЕБОЛЬШОГО РАЗМЕРА РУДНОГО ПОЛЯ

ТОМИЛОВ А. Д.

Научно-исследовательский и проектный институт ОАО «Уралмеханобр», Екатеринбург

Аннотация. На стадии развития горных работ на месторождениях при подземном способе добычи руды системами разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями, когда уже построены основные вскрывающие капитальные выработки и осуществляется подготовительные и нарезные работы для ведения очистной выемки запасов, увеличение производительности рудника по добыче руды происходит в течении довольно продолжительного периода. Экономическая эффективность и сокращение срока окупаемости капитальных вложений зависит от скорейшего выхода рудника на проектную производительность. Одним из способов решения данной задачи является сокращение периода твердения закладочной смеси в выработанном пространстве, при этом параметры и конструктивное исполнение системы разработки остаются неизменными. Сокращение срока твердения закладочной смеси осуществляется за счет увеличения расхода цемента на ее приготовление. В докладе отражен укрупненный технико-экономический анализ влияния сокращения срока твердения закладочной смеси на получение дополнительной прибыли от реализации товарной продукции в период набора производительности до выхода рудника на проектную мощность.

Ключевые слова: экономическая эффективность; срок окупаемости; период твердения закладочной смеси.

DEPENDENCE OF PRODUCTION PRODUCTIVITY ON THE HARDENING PERIOD OF THE FILLING MIXTURE IN CONDITIONS OF A SMALL THE SIZE OF THE ORE FIELD

TOMILOV A. D.

Research and Design Institute OJSC «Uralmekhanobr», Ekaterinburg

Abstract. At the stage of development of mining operations at deposits with an underground method of ore extraction by development systems with the laying of the worked-out space with hardening mixtures, when the main opening capital workings have already been built and preparatory and rifling work is carried out to conduct the clean-up excavation of reserves, an increase in the productivity of the mine for ore extraction occurs over a fairly long period. The economic efficiency and reduction of the payback period of capital investments depends on the early output of the mine to the design capacity. One of the ways to solve this problem is to reduce the hardening period of the filling mixture in the developed space, while the parameters and design of the development system remain unchanged. The reduction of the hardening period of the filling mixture is carried out by increasing the consumption of cement for its preparation. The report reflects an enlarged technical and economic analysis of the impact of reducing the hardening period of the filling mixture on obtaining additional profit from the sale of marketable products during the period of productivity gain before the mine reaches its design capacity.

Keywords: economic efficiency, payback period, hardening period of the filling mixture.

«Влияние сокращения срока твердения закладочной смеси на увеличение производительности добычи руды»

Рассмотрим изменение производительности одной выемочной единицы на примере Юбилейного месторождения ООО «Башмедь» при подэтажно-камерной системе разработки с восходящей выемкой и расположением камер в крест простирания рудного тела. Данный вариант подэтажно-камерной системы разработки с восходящей выемкой и расположением камер в крест простирания рудного тела применяется при выемке запасов в отметках 1050/890 (–630/–470) м.

Выемка камер в подэтаже осуществляется в камерно-целиковом порядке по схеме 1-2-3-1. Принципиальная схема отработки представлена на Рисунке 1.1.

Рудные тела в подэтаже по простиранию разделяются на панели. Каждая панель делится на условные блоки, состоящие из 3 камер (камеры первой, второй и третьей очереди).

Параметры выемочного блока:

длина – 40 м;

ширина – 30 м;

высота – равна высоте выемочного подэтажа (40 м).

Выемка камер в выемочном блоке осуществляется по схеме 1-2-3. Оработка камер в соседних (смежных) блоках может осуществляться независимо друг от друга, при этом расстояние между двумя обрабатываемыми камерами смежных блоков должно составлять не менее двойной ширины камеры (20 м).

Параметры камер:

длина 40 м;

высота 40 м;

ширина 10 м.

Первоначально в блоке обрабатываются камеры первой очереди шириной 10 м. При этом камеры первой очереди в смежных блоках разделяются друг от друга рудным целиком (камеры второй и третьей очереди) шириной 20 м.

После отработки и закладки камер первой очереди производится отработка камер второй очереди в смежных блоках. Камеры второй очереди разделены друг от друга комбинированным целиком шириной 20 м, состоящим из закладочного массива камер первой очереди и рудного массива камер третьей очереди.

На третьей стадии производится отработка камер третьей очереди. Данные камеры в смежных блоках разделяются закладочным массивом шириной 20 м, состоящим из закладочного массива камер первой и второй очереди.

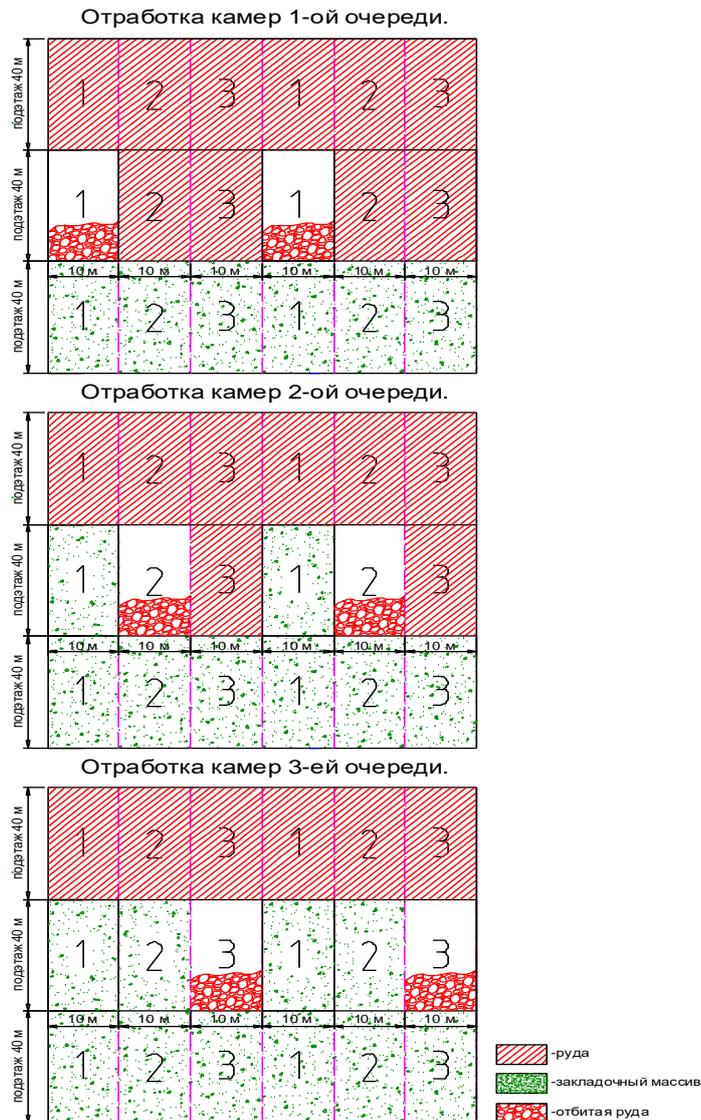


Рис. 1.1. Принципиальная схема отработки в восходящем порядке при камерно-целиковой схеме 1-2-3-1

При классической технологии приготовления закладочной смеси срок твердения составляет 90 сут, ускоренный 45 и 28 сут. Время на установку перемычки и ведение закладочных работ 1 месяц. Производительность очистных работ из одной камеры 30 тыс. т/мес. Средние запасы камеры составляют 67,2 тыс. т руды.

Очистные работы:

$$t_{\text{оч.работ}} = \frac{V_{\text{кам.}}}{\theta_{\text{оч.работ}}} = \frac{67,2}{30} = 2,24 \text{ мес}$$

Период выемки запасов камеры при твердении закладочного массива 90 сут составляет:

$$\sum_t = t_{\text{оч.работ}} + t_{\text{закл.работ}} + t_{\text{твердения}} = 2,24 + 1 + 3 = 6,24 \text{ мес}$$

Производительность выемочной единицы (камеры) с учетом полного цикла горных работ:

$$\vartheta_{90\text{сут.}} = \frac{V_{\text{кам.}}}{\sum t} = \frac{67,2}{6,24} = 10,77 \text{ тыс. т/мес}$$

Период выемки запасов камеры при твердении закладочного массива 45 сут составляет:

$$\sum_t = t_{\text{оч.работ}} + t_{\text{закл.работ}} + t_{\text{твердения}} = 2,24 + 1 + 1,5 = 4,74 \text{ мес}$$

Производительность выемочной единицы (камеры) с учетом полного цикла горных работ:

$$\vartheta_{45\text{сут.}} = \frac{V_{\text{кам.}}}{\sum t} = \frac{67,2}{4,74} = 14,17 \text{ тыс. т/мес}$$

Период выемки запасов камеры при твердении закладочного массива 28 суток составляет:

$$\sum_t = t_{\text{оч.работ}} + t_{\text{закл.работ}} + t_{\text{твердения}} = 2,24 + 1 + 1 = 4,24 \text{ мес}$$

Производительность выемочной единицы (камеры) с учетом полного цикла горных работ:

$$\vartheta_{28\text{сут.}} = \frac{V_{\text{кам.}}}{\sum t} = \frac{67,2}{4,24} = 15,85 \text{ тыс. т/мес}$$

Из расчета мы можем увидеть, что при сокращении срока твердения закладочного массива производительность добычных работ возрастает на 31,6 % при 45 сут и на 47,2 % при 28 сут твердения.

Схема закладки твердеющими смесями камер в крест простирания высотой 40 м при восходящем порядке отработки представлена на рисунке 1.2.

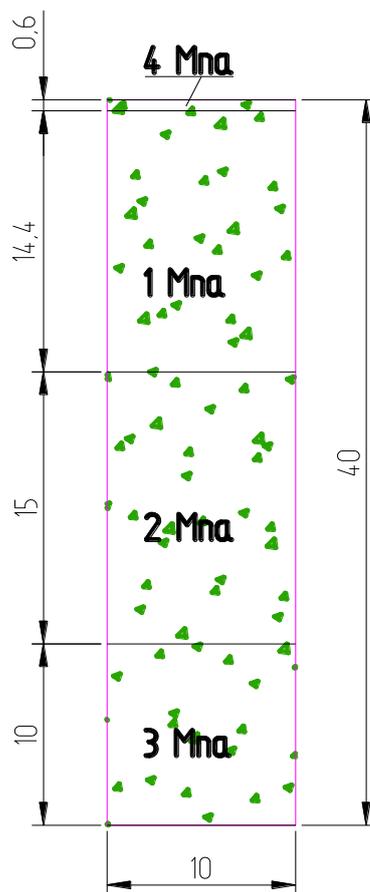


Рис. 1.2. Схема закладки твердеющими смесями камер высотой 40 м при восходящем порядке отработки

Необходимое количество материалов для закладки камеры длиной 40 м рассчитывается с учетом коэффициента усадки 5 %. Общий объем пустот в камере – 16 000 м³, необходимое количество закладочной смеси – 16 800 м³. Данные о количестве материалов для приготовления закладки представлены в таблице 1.1-1.3.

Таблица 1.1. Данные о количестве материалов для приготовления закладочной смеси со сроком твердения 90 сут

Прочность закладки, МПа	Необходимый объем закладки, м ³	Цемент, т	Шлак, т	Порода, т	Вода, т
1	5760	173	1440	6480	2880
2	6000	450	1500	6570	2970
3	4000	560	1000	4160	1980
4	240	43	60	244	118
<i>Всего</i>	16 800	1226	4000	17 454	7948
На 1 м ³ пустот	1,05	0,077	0,250	1,091	0,497

Таблица 1.2. Данные о количестве материалов для приготовления закладочной смеси со сроком твердения 45 сут

Прочность закладки, МПа	Необходимый объем закладки, м ³	Цемент, т	Шлак, т	Порода, т	Вода, т
1	5760	259	1440	6394	2880
2	6000	630	1500	6420	2970
3	4000	660	1000	4080	1980
4	240	48	60	240	118
<i>Всего</i>	16 800	1597	4000	17 134	7948
На 1 м ³ пустот	1,05	0,100	0,250	1,071	0,497

Таблица 1.3. Данные о количестве материалов для приготовления закладочной смеси со сроком твердения 28 сут

Прочность закладки, МПа	Необходимый объем закладки, м ³	Цемент, т	Шлак, т	Порода, т	Вода, т
1	5760	374	1440	6307	2880
2	6000	840	1500	6180	3000
3	4000	780	1000	4000	1980
4	240	54	60	234	119
<i>Всего</i>	16 800	2048	4000	16 721	7979
На 1 м ³ пустот	1,05	0,128	0,250	1,045	0,499

Составы закладочной смеси показывают, что технология ускорения твердения подразумевает использование большего количества цемента на тот же объем заполнителей, что несет дополнительные затраты.

Расчет затрат на закладочные работы и изменение себестоимости добычи представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4. Затраты и выручка по месторождению на 2028 г. с разными сроками твердения закладочной смеси

Срок твердения закладочной смеси	90 сут	45 + 28 сут
Возможная годовая производительность добычи Юбилейного месторождения с учетом повышения интенсивности выемки запасов камер, тыс. т	2450	3600
Цеховая себестоимость добычи руды Юбилейного месторождения, млн руб.	5939,5	8565,3
В том числе: эксплуатационные затраты на закладочные работы, млн руб.	1201,0	1761,1
Затраты последующих переделов (обогащение и металлургия), в том числе налоги, млн руб.	8470,0	12 445,8
Выручка от реализации готовой продукции, млн руб.	29 831,9	43834,7
Прибыль, млн руб.	15 422,4	22 823,6

Из таблицы подсчета экономических показателей по месторождению Юбилейное на 2028 г. мы видим, что при уменьшении срока твердения закладочной смеси дополнительные затраты на ее приготовление не существенно влияют на себестоимость добычи в целом по месторождению.

Колоссальный экономический эффект по выручке от реализации готовой продукции показывает целесообразность данной технологии повышения производительности при подземном способе добычи руды, камерными системами разработки с закладкой выработанного пространства.

Расчет прибыли произведен по внутренней формуле УГМК и включает все расходы полного цикла переработки металлов, процессы добычи, обогащения и металлургическую составляющую. График сравнения прибыли по производительности с применением технологии ускоренного твердения закладочной смеси представлен на рисунке 1.3.

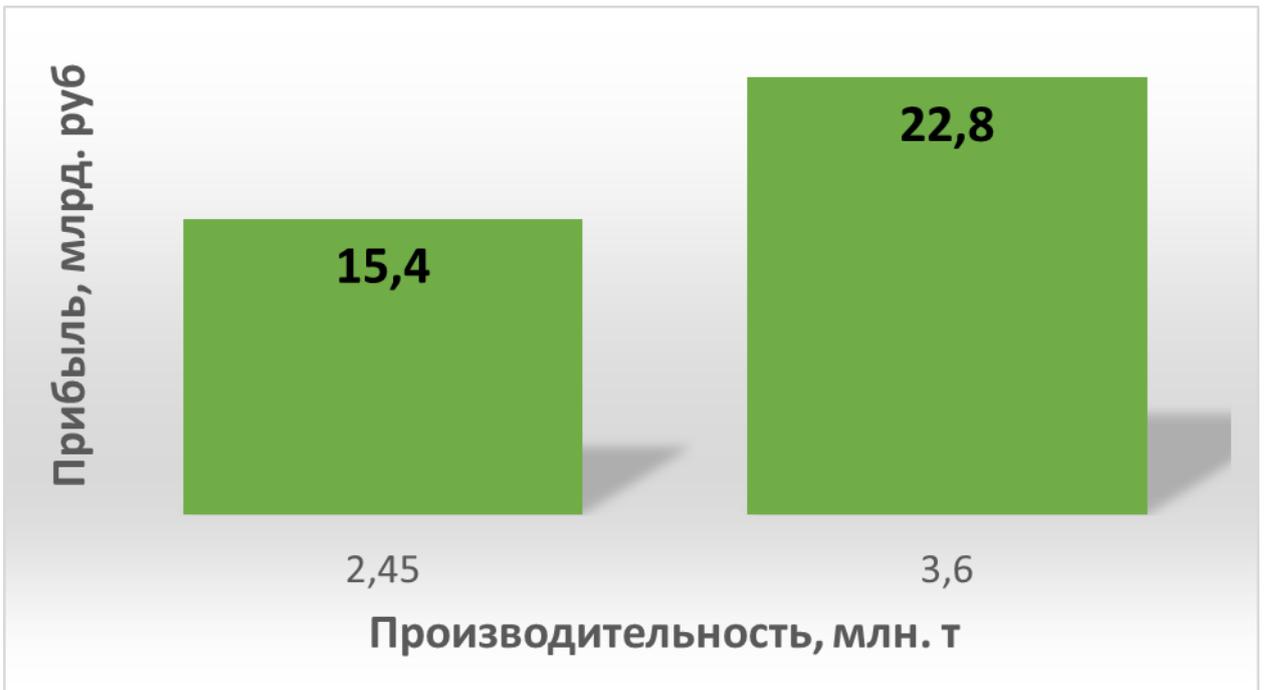


Рис. 1.3. График сравнения прибыли

Вывод

На этапе развития месторождения одним из важных показателей является срок выхода рудника на проектную производительность. Данная технология позволяет максимально быстро развивать очистные работы, что помогает достичь нужных показателей, а также максимально уменьшить срок окупаемости капитальных вложений. Стоит отметить, что применение технологии ускоренного твердения закладочного массива не влияет на безопасность ведения горных работ, а учитывая экономический эффект от увеличения производительности рудника на стадии выхода предприятия на проектную производительность в ближайшем будущем будет применяться на многих рудниках.

УДК 622.2:001.891

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТРАТЕГИИ ИННОВАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ***

ЯКОВЛЕВ В. Л.

Институт горного дела УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. Предложена формулировка сущности методологии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых на основе принципов системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности. Предложена научно-методическая постановка проблем развития действующих горных предприятий. Методологические результаты исследований предложено учитывать в качестве научного сопровождения при разработке и реализации Стратегии развития минерально-сырьевой базы РФ на период до 2030–2050 гг.

Ключевые слова: минерально-сырьевая база, методологические основы, стратегия развития, глубокозалегающие месторождения, горнотехнические системы, твердые полезные ископаемые, переходные процессы, инновационные технологии, комплексное освоение.

**METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF THE STRATEGY OF INNOVATIVE
TECHNOLOGIES FOR THE INTEGRATED DEVELOPMENT OF SOLID MINERAL
DEPOSITS**

YAKOVLEV V. L.

Institute of Mining of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg

Abstract. The formulation of the essence of the methodology of integrated development of reserves of solid mineral deposits based on the principles of consistency, complexity, interdisciplinarity and innovation orientation is proposed. A scientific and methodological formulation of the problems of the development of existing mining enterprises is proposed. The methodological results of the research are proposed to be taken into account as scientific support in the development and implementation of the Strategy for the development of the mineral resource base of the Russian Federation for the period up to 2030–2050.

Keywords: mineral resource base, methodological foundations, development strategy, deep-lying deposits, mining systems, solid minerals, transients, innovative technologies, integrated development.

*Статья подготовлена на основе результатов исследований по Теме I «Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем (2022–2024)».

The article is based on the results of research on the Topic I "Methodological foundations of the strategy of integrated development of reserves of solid mineral deposits in the dynamics of development of mining systems (2022–2024)".

Уникальной закономерностью в развитии горнодобывающей промышленности является решающая зависимость технико-экономических показателей от природных горно-геологических и физико-географических условий, что отличает ее от всех других отраслей народного хозяйства [1].

Природа «обидела» Россию тем, что месторождения залегают, в основном, в более суровых физико-географических и менее благоприятных горно-геологических условиях.

Так, например, среднее содержание железа в рудах России составляет 35,8 %, в то время как в Австралии – 64 %, в Бразилии – 58 %, в ЮАР – 62 %.

Опережающий рост извлекаемых из недр объемов горной массы по сравнению с ростом основного конечного продукта является следствием двух других закономерностей:

– уменьшением среднего содержания главных полезных компонентов в добываемом сырье и росте объема запасов руды и металла при снижении бортового содержания.

Пример: на одном из месторождений при изменении содержания от 0,25 до 0,07 % запасы руды увеличились в 11,6 раза, а запасы металла только в 4,4 раза.

В США изменение бортового содержания меди с 0,8 до 0,5 % увеличило запасы металла в 2 раза.

В СССР за 40 лет в железорудной промышленности добыча сырой руды возросла в 11 раз, а товарной – всего в 6 раз. В цветной металлургии на 1 т металла объем добываемой горной массы возрос за 8 лет в 2 раза.

Все месторождения полезных ископаемых являются потенциально комплексными. В 1985 г. в цветной металлургии из 107 известных элементов в России извлекалось 74 элемента, 62 из которых являются попутными.

А если еще учесть, что коэффициент вскрыши на железорудных карьерах России в 4 раза больше, чем в упомянутых странах, то станет понятным, почему, производя 5,8 % мировой товарной продукции, Россия добывает 27 % горной массы.

При разработке стратегии освоения запасов месторождений необходимо учитывать особенности условий развития горнодобывающей промышленности:

1. Исчерпаемость и невозобновимость конкретных месторождений полезных ископаемых.
2. Комплексность месторождений и минерального сырья.
3. Разнообразие природных условий разработки месторождений одноименного минерального сырья.
4. Индивидуальность технологических свойств и условий переработки минерального сырья (рис. 1).
5. Высокую природную изменчивость геологических параметров в пределах месторождения и необходимость корректировки проектных решений при нарастании информации о месторождении по мере его освоения (рис. 2).

Уже на первом этапе формирования основ эффективного освоения конкретного месторождения на основе анализа горно-геологической информации об объемах, качестве и параметрах пространственного расположения запасов основных и попутных компонентов производится оценка целесообразности их комплексного освоения.

В проекте обосновывается способ разработки месторождения (открытой, подземной, комбинированной), производственная мощность предприятия, схема вскрытия и система разработки, техника технологических процессов, объемы и качество товарной продукции, возможные потребители, источники финансирования. Все решения принимаются на основе действующих на момент проектирования геологических, технологических и технико-экономических данных определенной степени достоверности.

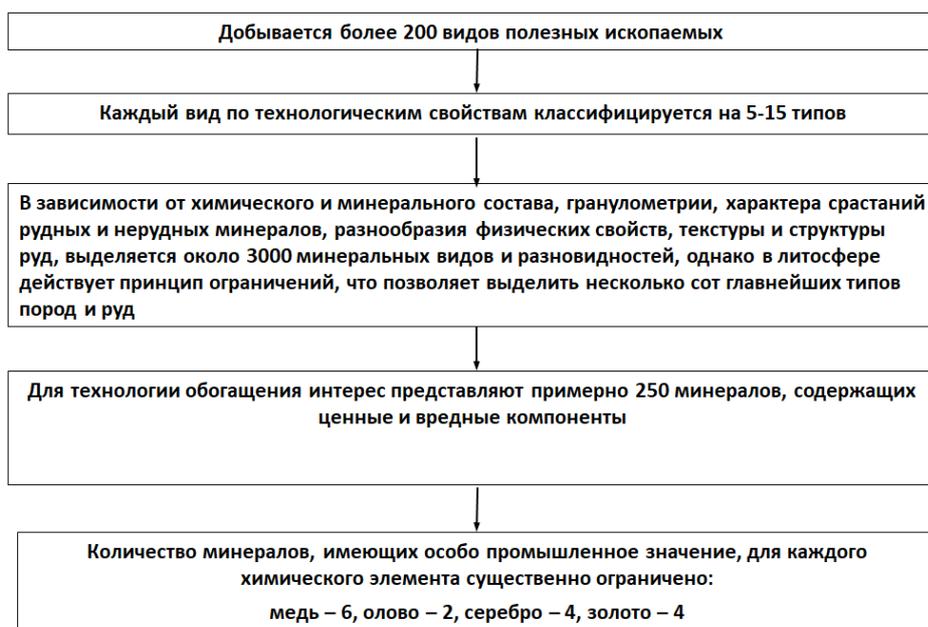


Рис. 1. Индивидуальность технологических свойств и условий переработки минерального сырья

Этапы разведки	Результаты	Принимаемые решения
Предварительная	Обоснование кондиций. Подсчет запасов по категориям C_1 и C_2	Разрабатывается ТЭД; обосновывается целесообразность освоения, способ разработки, технологии добычи и переработки, степень и характер комплексности месторождения, определяются ТЭП добычи, обогащения и металлургического передела
Детальная	Уточнение геологического строения, форм, условий залегания тел полезного ископаемого, его качества, гидрогеологических и горнотехнических условий предполагаемой разработки. Перевод запасов категорий C_1 и C_2 в категории А и В.	При положительной оценке принимается решение о проектировании горного предприятия. Основные геологические параметры, определяющие выбор способа разработки, техники и технологии добычи и переработки, принимаются обычно с ошибками вследствие недостаточной достоверности информации.
Эксплуатационная, ведется весь период отработки месторождения	Устранение неопределенности в геологической обстановке	Планирование добычи полезного ископаемого по сортам, корректировка типоразмеров горных машин и технологии добычи, режимов усреднения и обогащения.

Рис. 2. Нарастание информации о месторождении и принятие основных технологических решений

На этапе строительства и ввода в эксплуатацию применяемая техника может отличаться от предусмотренной проектом, уточняются физико-механические свойства горных пород, запасы, условия залегания и качественная характеристика полезных ископаемых, цены на оборудование, материалы и т.п., что потребует корректировку проектных решений.

В последующие этапы эксплуатации изменяются горнотехнические условия формирования и развития горных работ, требования потребителей по объемам, качеству и це-

нам товарной продукции. Необходима постоянная адаптация горного предприятия к изменяющимся условиям функционирования на основе мониторинга состояния и прогноза параметров внутренней и внешней среды.

Учитывая, что каждое месторождение уникально, самое радикальное решение – для его разработки должны создаваться технические средства и оборудование и применяться технологии, в наибольшей степени отвечающие его геологическим особенностям и природно-климатическим условиям района месторождения.

Минерально-сырьевая база отрасли, региона, предприятия, как правило, не ограничивается собственно минеральным объектом – месторождением, поскольку его наличие еще не гарантирует создания промпродукта, или конечной продукции с требуемыми потребительскими свойствами. Более того, наличие даже апробированных балансовых запасов полезных ископаемых совсем не означает, что они должны или будут обрабатываться в обозримом будущем. Поэтому под минерально-сырьевой базой следует понимать не только совокупность минеральных ресурсов, но также и средств их добычи и переработки. Для более полного отражения условий освоения месторождений необходимо понятие, учитывающее более широкий охват процессов, способов и средств производства при подготовке запасов, их добыче, первоначальной переработке. Таким понятием может стать «минеральный комплекс» (МК), включающий следующие элементы: сырьевые фонды, представленные месторождениями и проявлениями различных полезных ископаемых; службы и организации, призванные вести геологическое изучение, охранять и восполнять природные ресурсы; добывающую и перерабатывающую промышленность; научно-исследовательские и опытно-конструкторские организации, обеспечивающие исследование и оценку минеральных ресурсов, разработку техники и технологий рациональной добычи и переработки сырья; органы государственной власти, управляющие комплексом.

Выполненные технико-экономические обоснования и проекты свидетельствуют о том, что при комплексном освоении новых месторождений и расширении сырьевой базы действующих горных предприятий в труднодоступных, в особенности, северных регионах организация промышленной и социальной инфраструктуры является самым затратным элементом, поэтому в этих случаях потребуются принципиально новый подход к выработке стратегии формирования горнопромышленных комплексов с единой, открытой производственной инфраструктурой, включающей источники энергии, водоснабжения, ремонтные базы, объекты социальной сферы, перерабатывающие предприятия и т.п.

При этом технологическое развитие горных предприятий должно базироваться на:

- применении специально горного и транспортного оборудования в северном исполнении с единичной мощностью, соответствующей использованию минимума машин и механизмов на каждом горном предприятии, с целью сокращения численности работающих;
- предпочтительном применении на начальном этапе открытого способа разработки, с выделением на каждом месторождении первоочередных участков с минимумом горно-капитальных работ;
- целесообразности применения буровых станков, экскаваторов и другой техники с дизельным приводом, а в случае использования техники с электроприводом – применение мобильных автономных источников энергии, работающих на газе, мазуте или угле.

Таким образом, принцип комплексного освоения недр дополняется принципом комплексного освоения территорий.

При всем богатстве и многообразии минерально-сырьевая база России в ее нынешнем состоянии не может служить драйвером экономического роста, а потенциал «поискового задела» для ее наращивания ограничен из-за недостаточной геологической изученности недр. И, хотя объем финансирования геологического изучения и воспроизводства минерально-сырьевой базы растет, однако, на 90 % за счет средств недропользователей, которые вкладываются в разведку месторождений в районах с наибольшей концентрацией и доступностью запасов, в результате по большинству разведанных месторождений твердых

полезных ископаемых поиск и оценка запасов вообще не проводится, а потребность России, в том числе стратегических видов полезных ископаемых, удовлетворяется за счет импорта.

В настоящее время из выявленных в недрах Российской Федерации 283 видов полезных ископаемых добываются 86, основная добыча приходится на 1/5 из них, причем многие из них (железные руды, медь, никель, вольфрам, золото, платина, алмазы, фосфаты) имеются в недрах северных и северо-восточных регионов страны.

Разработанный в ИГД УрО РАН методологический подход к обоснованию стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых сводится к совокупному применению программно-целевых методов исследований на основе принципов:

- *системности* – раскрытия основных правил исследования, эксплуатации или освоения минерального объекта, выявления многообразных типов внешних и внутренних связей, влияющих на построение обобщенной модели исследуемой системы;
- *комплексности* – исследования не только явлений и процессов разработки, но и возможности наиболее полного использования всех компонентов месторождений минерального сырья, освоения и развития территорий и регионов их расположения;
- *междисциплинарности* – объединения достижений в смежных областях научных знаний для всесторонней и эффективной оценки полезного эффекта и поиска нетрадиционных подходов к использованию богатств недр;
- *инновационной направленности* – обязательного требования обеспечить материализованный результат, получаемый от вложения средств в научные исследования, новую технику или технологию, в новые формы организации безопасного производства, труда и управления [2].

Авторам монографии «Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья» Президиумом РАН Постановлением от 22 февраля 2022 г. присуждена премия им. Н. В. Мельникова за выдающуюся научную работу в области проблем комплексного освоения недр.

Этот подход можно реализовать непрерывным мониторингом развития горнотехнической системы горнообогатительного предприятия, своевременной разработкой технических, технологических и организационных мероприятий переходных процессов на всех стадиях освоения месторождения и реализацией рекомендаций по совершенствованию требующих изменения параметров и технологий в связи с изменяющимися внутренними и внешними условиями функционирования горного предприятия [3].

Основные этапы и результаты исследований по разработке методологических основ стратегии развития горнотехнических систем при освоении глубокозалегающих месторождений твердых полезных ископаемых освещены в публикациях [4–7].

В развитие методологических основ стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем исследованиями 2022 года по включенной в план института теме в качестве госзадания на 2022–2024 годы обоснованы: параметры устойчивости уступов и бортов карьеров с учетом сейсмического воздействия взрывных работ, рациональные конструкции комбинированной системы разработки бедных комплексных руд, параметры буро-взрывных работ на основе измерения энергетических, детонационных характеристик эмульсионных взрывчатых веществ и экспресс-определения прочностных свойств горных пород, методы оценки сырьевой базы рудных месторождений и комплексного управления качеством минерального сырья в рудных потоках с использованием большегрузного карьерного автотранспорта, модель принятия решений по управлению риском в развитии системы безопасности горных работ, с учетом взаимосвязей технологических процессов (рис. 3).

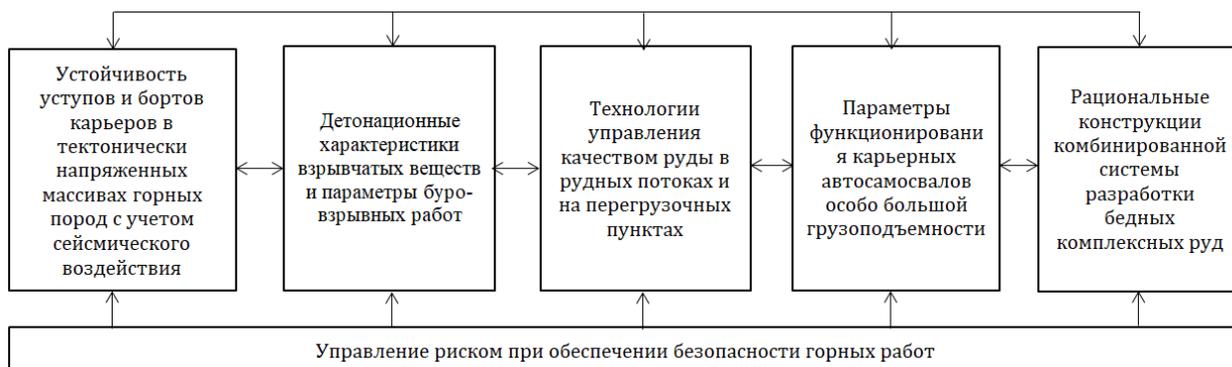


Рис. 3. Взаимосвязи технологических процессов горнотехнических систем

Предлагаемый методологический подход, основанный на исследовании переходных процессов, является универсальным, и может использоваться при проектировании освоения глубокозалегающих месторождений, планировании, организации и управлении добычей и рудоподготовкой минерального сырья на действующих горных предприятиях с учетом нарастания геологической информации, внедрения разработанных инновационных мероприятий, изменения параметров и показателей горнотехнической системы горного предприятия по мере развития горных работ.

Предложена научно-методическая постановка проблем развития действующих предприятий, включающая решение комплекса задач по трем основным направлениям:

1. Разработка долгосрочной стратегии инновационно-технологического развития, включающей решение комплексных задач:

- анализ горно-геологической информации об объемах, качестве и пространственном расположении оставшихся запасов основных и попутных полезных компонентов;
- обоснование кондиций с учетом уточненных качественных признаков добываемого сырья и конъюнктуры отечественного и мирового рынка на товарную продукцию;
- уточнение границ открытых и подземных горных работ и их последовательного, параллельного или комбинированного применения;
- обоснование объемов добычи и номенклатуры товарной продукции, как основы для выработки и принятия управленческих воздействий в технологическом и организационно-экономическом развитии на краткосрочную и долгосрочную перспективу.

2. Выработка подходов к развитию технологии горного производства, включая:

- исследование режима горных работ в увязке с порядком их развития и формированием рабочей зоны (очистного пространства), обеспечивающим предпосылки для управления качеством добываемого сырья;
- аудит и анализ структуры парка оборудования и на их основе - модернизацию действующих, а также создание и применение новых машин и механизмов;
- целевая оптимизация параметров технологических процессов и их взаимодействия применительно к конкретным, специфичным условиям функционирования.

3. Разработка комплекса организационно-экономических мероприятий и управленческих воздействий с целью выхода из кризисных ситуаций или их предотвращения, в том числе:

- обоснование способов резервирования и управления ресурсами предприятия всех видов (товарная продукция, финансы, оборудование, материалы и т.п.);

- ситуационный технико-технологический анализ организационной структуры горного производства и поиск «узких» мест, сдерживающих снижение текущих издержек или повышение доходности, а также обеспечивающих безопасность ведения работ;
- комплексный анализ управленческих решений и системная увязка элементов и подсистем горного предприятия как организационно-экономической и финансовой системы и пр.

Основы, цели и задачи выбора и реализации стратегии освоения минерально-сырьевых ресурсов страны предлагается решать на 5 уровнях.

На государственном – поиск и разведка полезных ископаемых, оценка ресурсного потенциала и учетом мировых тенденций развития производства и потребления минерального сырья, разработка закона о недрах, обоснование стратегии сырьевого обеспечения страны и долгосрочной политики развития регионов и отраслей.

На федеральном – с учетом роли и места округов в программе социально-экономического развития страны, существующих и перспективных хозяйственных связей между субъектами федерации, разработка программ освоения и развития минерально-сырьевой базы входящих в состав округа субъектов, концепции развития горно-металлургического и топливно-энергетического комплексов, создания минерально-сырьевых центров.

На уровне регионов (например, Арктической зоны) – оценка природного потенциала, наличия утвержденных и прогнозных запасов полезных ископаемых, в особенности стратегических видов минерального сырья, сложившейся структуры развития субъектов и межсубъектных связей, разработка схемы размещения и развития производственных сил на средне и долгосрочную перспективу.

На уровне субъектов – разработка программы освоения и развития минерально-сырьевой базы с учетом долгосрочной программы социально-экономического развития.

На уровне недропользователей – разработка программ развития и поддержания сырьевой базы, эффективная разработка месторождений с учетом нормативно-законодательных актов о недропользовании.

Заключение

Предложена формулировка сущности методологии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых:

Стратегия освоения глубокозалегающего сложноструктурного месторождения – долгосрочный план действий на всех этапах разведки, проектирования и разработки месторождения до получения товарной продукции на основе методологического подхода на основе принципов системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности, учитывающих нарастание геологической и горнотехнической информации, включая исследование переходных процессов и учет закономерностей их развития при реализации принимаемых инновационных технологий оценки, добычи, рудоподготовки и обогащения минерального сырья по адаптации горнотехнической и организационно-технологической системы горного предприятия в качестве реакции на изменения внутренних и внешних условий его функционирования.

Дальнейшее развитие методологии комплексного освоения запасов глубокозалегающих сложноструктурных месторождений связано с необходимостью исследования взаимосвязи основных технологических процессов и методов их учета при разработке и реализации инновационных решений по адаптации всех звеньев горнотехнической системы предприятия к изменяющимся условиям его функционирования в динамике развития горных работ.

В целом предлагаемый методологический подход позволяет более полно учесть геологические, горнотехнические, экологические и организационные особенности оцениваемых месторождений и районов их расположения, а также обеспечить предпосылки для системного принятия наиболее эффективных энерго- и ресурсосберегающих технологических решений.

Исследования переходных процессов направлены на установление основных факторов, влияющих на обоснование методов, этапов и сроков адаптации параметров основных технологических процессов на действующих горных предприятиях к изменяющимся внутренним и внешним условиям их функционирования и при освоении новых глубокозалегающих месторождений в различных природно-климатических и горно-технических условиях.

Этот методологический подход позволяет перейти от организации и параметров системы, созданной в условиях неполноты информации, путем реализации обоснованных исследованием изменяющихся условий функционирования горнотехнической системы конкретного разрабатываемого или осваиваемого вновь месторождения к новой структуре, организационно, технологически и технически соответствующей изменившимся характеристикам горно-технических и горно-геологических параметров вновь вскрываемых запасов минерального сырья, требующих инновационных технологий его добычи и переработки, в том числе с учетом изменения параметров внешней среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Батугин С. А., Яковлев В. Л. Закономерности развития горного дела; отв. ред. Е. Н. Чемезов; Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1992. 116 с.
2. Яковлев В. Л., Корнилков С. В., Соколов И. В. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья / под ред. чл.-корр. РАН В. Л. Яковлева. Екатеринбург: УрО РАН, 2018. 360 с. <http://dx.doi.org/10.25635/IM.2018.18.37360>
3. Яковлев В. Л. Исследование переходных процессов – новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов. Екатеринбург: УрО РАН, 2019. 284 с. <http://dx.doi.org/10.25635/IM.2020.54.57311>
4. Яковлев В. Л. О методологии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых для разработки стратегии развития минерально-сырьевой базы России // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 7. С. 5–20. <http://dx.doi.org/10.21440/0536-1028-2020-7-5-20>
5. Яковлев В. Л. Методологические основы стратегии инновационного развития горнотехнических систем при освоении глубокозалегающих месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 5-1. С. 6–19. http://dx.doi.org/10.25018/0236_1493_2021_51_0_6
6. Яковлев В. Л. Основные этапы и результаты исследований по разработке методологических основ стратегии развития горнотехнических систем при освоении глубокозалегающих месторождений твердых полезных ископаемых // Горная промышленность. 2022. № 1S. С. 34–45. <http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1S-34-45>
7. Яковлев В. Л. О необходимости разработки Программы комплексного освоения и развития минерально-сырьевой базы Республики Саха (Якутия) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2022. Т. 27. № 3. С. 363–369. <http://dx.doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-3-363-369>

АНАЛИЗ ХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ЭТАПОВ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ РАЗВИТИИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА КАРЬЕРАХ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

БЕРСЕНЕВ Г. П., РЕГОТУНОВ А. С., ЖАРИКОВ С. Н., КУТУЕВ В. А.

Институт горного дела УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. В статье представлены систематизированные результаты исследования технологического развития буровзрывных работ (БВР) на ведущих горных предприятиях Уральского региона с открытым способом добычи твердых полезных ископаемых – ПАО «Ураласбест», АО «ЕВРАЗ КГОК», ПАО «Комбинат «Магнезит». Установлен и приведен общий порядок действий для адаптации параметров техники и технологии буровзрывного разрушения к новым условиям применения при открытой добыче месторождений полезных ископаемых. Установлены и представлены причины возникновения переходных процессов при адаптации технологии БВР к меняющимся условиям.

Ключевые слова: технологическое развитие, адаптация, буровзрывные работы, открытые горные работы, разрушение горных пород, параметры БВР.

ANALYSIS OF THE CHRONOLOGICAL STAGES OF THE INTRODUCTION OF TECHNICAL SOLUTIONS IN THE TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF DRILLING AND BLASTING OPERATIONS IN THE QUARRIES OF THE URAL REGION

BERSENEV G. P., REGOTUNOV A. S., ZHARIKOV S. N., KUTUEV V. A.

Institute of Mining of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg

Abstract. The article presents the systematized results of the study of technological development of drilling and blasting operations at the leading mining enterprises of the Ural region with an open method of extraction of solid minerals – PJSC "Uralasbest", JSC "EVRAZ KGOK", PJSC "Magnezit Combine". The general procedure for adapting the parameters of the equipment and technology of drilling and blasting destruction to the new conditions of use in open-pit mining of mineral deposits is established and given. The reasons for the emergence of transients during the adaptation of BVR technology to changing conditions are established and presented.

Keywords: technological development, adaptation, drilling and blasting operations, open-pit mining, rock destruction, BVR parameters.

Комбинат «Магнезит» разрабатывает Саткинское месторождение магнезита и является ведущим предприятием России по производству огнеупоров на магнезиальной основе с законченным технологическим циклом, от разведки и добычи природного магнезитового сырья до выпуска готовой продукции [1].

Качканарский горно-обогажительный комбинат – флагман горнорудной промышленности Урала, является крупнейшим современным железорудным предприятием России, единственным в мире ГОКом, выпускающим железо-ванадиевый концентрат, агломерат и окатыши, используемые для доменной плавки [2].

Уральский асбестовый горно-обогажительный комбинат – ПАО «Ураласбест» является одним из крупнейших горнодобывающих предприятий Свердловской области. В ас-

сортимент выпускаемой продукции входит асбест всех сортов и высококачественные строительные материалы, такие как щебень различных фракций, посыпки и песчано-щебеночные смеси [3–4].

История буровзрывных работ на указанных предприятиях – одна из самых богатых и интересных среди горнодобывающих предприятий Урала. Поэтому в целях выявления общих закономерностей, причин и особенностей технологического развития буровзрывных работ на других горных предприятиях нами выполнен ретроспективный анализ этапов реализации основных технических решений при технологическом развитии буровзрывных работ на примере названных карьеров Уральского региона.

Хронология основных этапов технологического развития буровзрывных работ на карьерах ПАО «Комбинат Магnezит», ПАО «Ураласбест», АО «ЕВРАЗ КГОК» представлена в таблице 1.

Этапы технологического развития проиндексированы согласно направлениям:

- БП – буровзрывные работы – первичные для основного бурения, предназначенного для разрушения естественного горного массива;
- ВТ – взрывные работы (взрывные технологии и методы);
- ВВ – взрывчатые вещества;
- СИ – средства инициирования;
- МВ – механизация взрывных работ.

Таблица 1. Этапы и длительность внедрения основных технических решений при технологическом развитии БВР на ведущих карьерах Урала [5, 6]

Этапы	Сущность изменения технологического процесса	Длительность процесса замены		
		ПАО «Ураласбест»	АО «ЕВРАЗ КГОК»	ПАО «Комбинат «Магnezит»
<i>1. Буровые работы</i>				
БП-0	Буровые работы – первичные	1889–1901 гг.	–	1900–1905 гг.
БП-1	Ручное бурение шпуров бурами, с помощью кувалд и ломов	1901–1925 гг.	–	1905–1927 гг.
БП-2	Перфораторное бурение шпуров от компрессорных станций: – стационарных – передвижных	С 1925 г. С 1940 г.	– –	1916–1928 гг. С 1927 г.
БП-3	Канатно-ударное бурение (КУБ): – импортными станками (Маршалл, Бьюсайрус и др.) – отечественными станками (БУ-2, БУ-20-2 и БС-1)	С 1927 г. 1936–1970 гг.	– 1960–1966 гг.	С 1929 г. 1938–1974 г.
БП-4	Вращательное (шнековое) бурение; буровые установки: ПБС, БСН, СБР (бурение по мерзлоте)	–	–	Конец 50-х годов XX в.
БП-5	Шарошечное бурение: – опытными станками (БШ-150, БСМ-1М) – станками вертикального бурения (2СБШ-200, СБШ-200) – станками наклонного бурения (2СБШ-200Н) – станками повышенной мощности (СБШ-250МНА)	С 1959 г. С 1966 г. С 1968 г. С 1972 г.	– С 1966 г. С 1968 г. С 1970 г.	с 1961 г. С 1968 г. С 1974 г. С 1984 г.

Продолжение таблицы 1

Этапы	Существо изменения технологического процесса	Длительность процесса замены		
		ПАО «Ураласбест»	АО «ЕВРАЗ КГОК»	ПАО «Комбинат «Магнезит»
БП-6	Ударно-вращательное (пневмоударное) бурение: – отечественными станками (БШК-4, СБШК-5, УТБ, УРБ) – импортными станками (Atlas Copco DM и DML)	– С 2003 г.	– С 2010 г.	С 1962 г. –
<i>2. Взрывные работы</i>				
ВТ	<i>2.1 Взрывные технологии и методы</i>			
ВТ-1	Наружными (накладными) зарядами ВВ	1901–1905 гг.	–	1900–1910 гг.
ВТ-2	Шпуровыми зарядами ВВ	С 1905 г.	–	С 1910 г.
ВТ-3	Камерными и малокамерными зарядами ВВ	1935–1940 гг.	–	1932–1940 гг.
ВТ-4	Скважинными зарядами ВВ	С 1930 г.	С 1960 г.	С 1929 г.
ВМ	<i>2.2 Взрывчатые материалы</i>			
ВВ	<i>2.2.1 Взрывчатые вещества</i>			
ВВ-1	Нитроглицериновые динамиты и пороха	1901–1930 гг.	–	С 1900 г.
ВВ-2	Динамоны	1931–1946 гг.	–	1931–1945 гг.
ВВ-3	Аммиачно-селитренные ВВ: – аммониты – зерногранулиты – граммониты	С 1931 г. С 1962 г. С 1970 г.	С 1960 г. С 1970 г. 1976–2015 гг.	С 1931 г. С 1970 г. С 1978 г.
ВВ-4	Тротил, гранулотол	1931–2010 гг.	1960–2018 гг.	–
ВВ-5	Ифзанит	С 1974 г.	С 1975 г.	–
ВВ-6	Эмульсионные взрывчатые вещества (ЭВВ): – патронированные (эмуласт) – наливные – порэмиты – гранэмиты И-30 – нитрониты	– С 1988 г. С 1996 г. –	– – С 2000 г. С 2008 г.	– – – –
СИ	<i>2.2.2 Средства инициирования</i>			
СИ-1	Огнепроводный шнур и капсулы-детонаторы	С 1901 г.	–	С 1900 г.
СИ-2	Электродетонаторы: – мгновенного действия – короткозамедленного действия	С 1970 г. С 1991 г.	С 1960 г. С 1960 г.	– –
СИ-3	Детонирующие шнуры	С 1932 г.	С 1960 г.	С 1931 г.
СИ-4	Пиротехнические замедлители	С 1962 г.	С 1969 г.	С 1963 г.
СИ-5	Неэлектрическая система (СИНВ, Эдилин, Искра)	С 2005 г.	С 1993–1994 гг.	–
СИ-6	Электронная система (Искра-Т, Искра-С)	С 2008 г.	С 2009 г.	–
МВ	<i>2.3 Механизация взрывных работ</i>			
МВ-1	Промышленные испытания первых зарядных машин – СУЗН-5	1966–1967 гг.	С 1966 г.	–
МВ-2	Реконструкция склада ВМ, средства механизации	1972–1987 гг.	2003 г., 2014 г.	С 1991 г.
МВ-3	Применение погрузчиков: – электрических – дизельных погрузчиков с аммиачной селитрой – дизельных погрузчиков с ВВ	С 1972 г. С 1974 г. С 1984 г.	С 1978 г. С 1988 г. С 1988 г.	С 1980 г. С 1990 г. С 1990 г.
МВ-4	Применение забоечных машин	С 1966 г.	С 1966 г.	С 1982 г.
МВ-5	Ввод в эксплуатацию зарядных машин: – с гранулированными ВВ – ЭВВ	1966–1967 гг. С 1996 г.	С 1975 г. С 2001 г.	– –
МВ-6	Заводы по изготовлению ЭВВ: – опытная установка (Р = 10 тыс. т.) – завод «Порэмит» (Р = 25 тыс. т.) – завод «Нитронит»	1988–1990 гг. С 1991 г. –	– – С 2008 г.	– – –

Анализ вышеприведенных ретроспективных данных (табл. 1) позволяет сделать вывод, что любое вносимое изменение в технологический процесс БВР является системой взаимосвязанных действий, выполняющихся с момента возникновения исходных данных до получения нужного результата. Также выявлено, что в среднем каждые 15–25 лет происходит смена способа бурения и буровой техники. Например, переход с ударно-канатного (применяемого до середины XX века) на шарошечный способ (применение с 60-х гг. XX в. и по настоящее время) позволил повысить значительно производительность, безопасность бурения 1 м скважины. Кардинальный переход с одного типа применяемого взрывчатого вещества на другой, более безопасный и экономичный в обращении, происходит в среднем раз в 15–20 лет.

Влияние отдельных основных этапов на эффективность и безопасность технологии буровзрывных работ с учетом взаимосвязи со смежными процессами представлено на рис. 1.

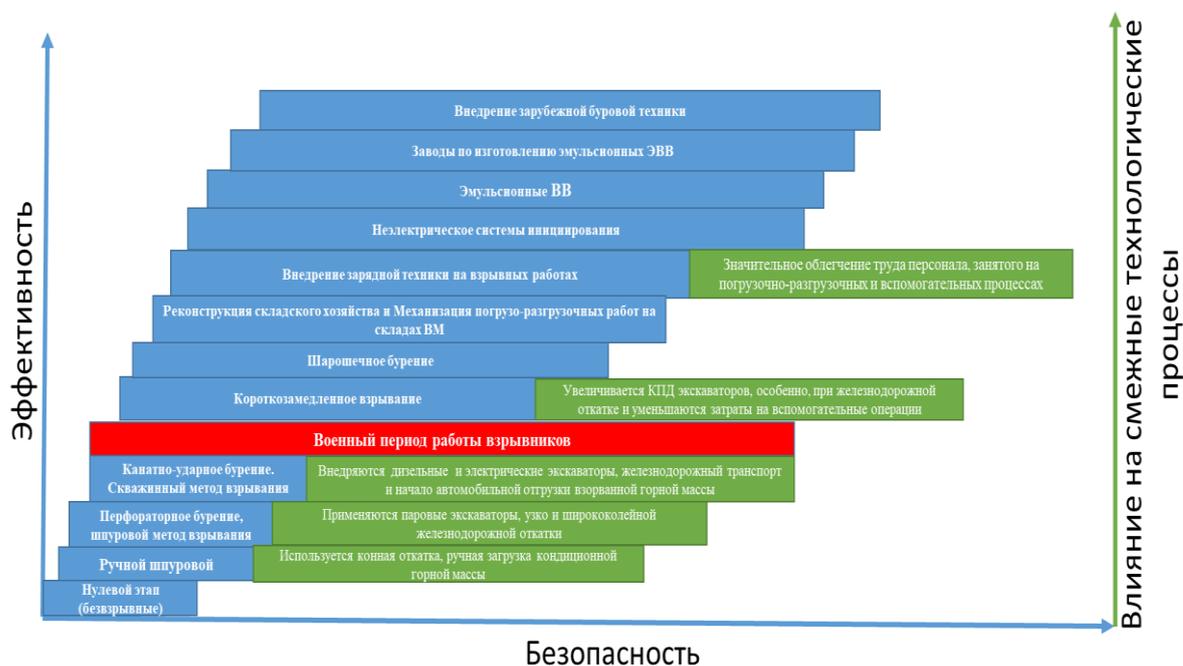


Рис. 1. Обобщение влияния основных технических решений при технологическом развитии БВР на эффективность и безопасность с учетом взаимосвязи со смежными процессами горного производства

В результате детального анализа представленных хронологических данных об этапах внедрения новых технических решений, способов и методов бурового и взрывного разрушения на ведущих горных предприятиях Уральского региона установлено, что каждый этап в течение определенного времени претерпевает развитие и усовершенствование. Это происходит до того момента, когда технология БВР обеспечивает стабильный результат при приемлемых экономических затратах, и соответствует предъявляемым требованиям промышленной безопасности. Как только экономика и промышленная безопасность буровзрывных работ начинают существенно противоречить друг другу, то горные предприятия принимают решение начать внедрение новых средств, способов и методов буровзрывных работ. Переход на новшества в технологии буровзрывных работ сопровождается повышением технико-экономических показателей и снижением риска нежелательных и опасных ситуаций при проведении буровзрывных работ [7]. При этом происходит положительное влияние на смежные технологические процессы.

Анализ опыта внедрения технологических изменений на горных предприятиях позволил установить также и общий порядок действий при адаптации параметров техники и технологии буровзрывного разрушения к новым условиям применения. Согласно блок-схеме (рис. 2) необходимость начала процесса инновационного развития БВР на горных предприятиях возникает по двум основным причинам: недостаточная производительность

горного оборудования и изменение требований промышленной безопасности. Основными целями инновационного развития технологии БВР на горных предприятиях являются повышение квалификации персонала; изменение условий труда и механизации процессов в БВР; адаптация к изменениям административного характера.

Для успешного осуществления процесса совершенствования технологии БВР необходимо оценить организационную и техническую готовность и осознать необходимость инноваций. В том случае, если выявлена недостаточность информации для принятия решения о внедрении инноваций, то необходимо определить и исследовать факторы, сдерживающие внедрение новшеств. При этом следует оценить ожидаемую длительность переходного процесса, учитывая время, затрачиваемое на восполнение необходимой информации для принятия решений. Исследование факторов следует повторять до достижения полной ясности о влияющих ограничениях для внедрения инноваций.

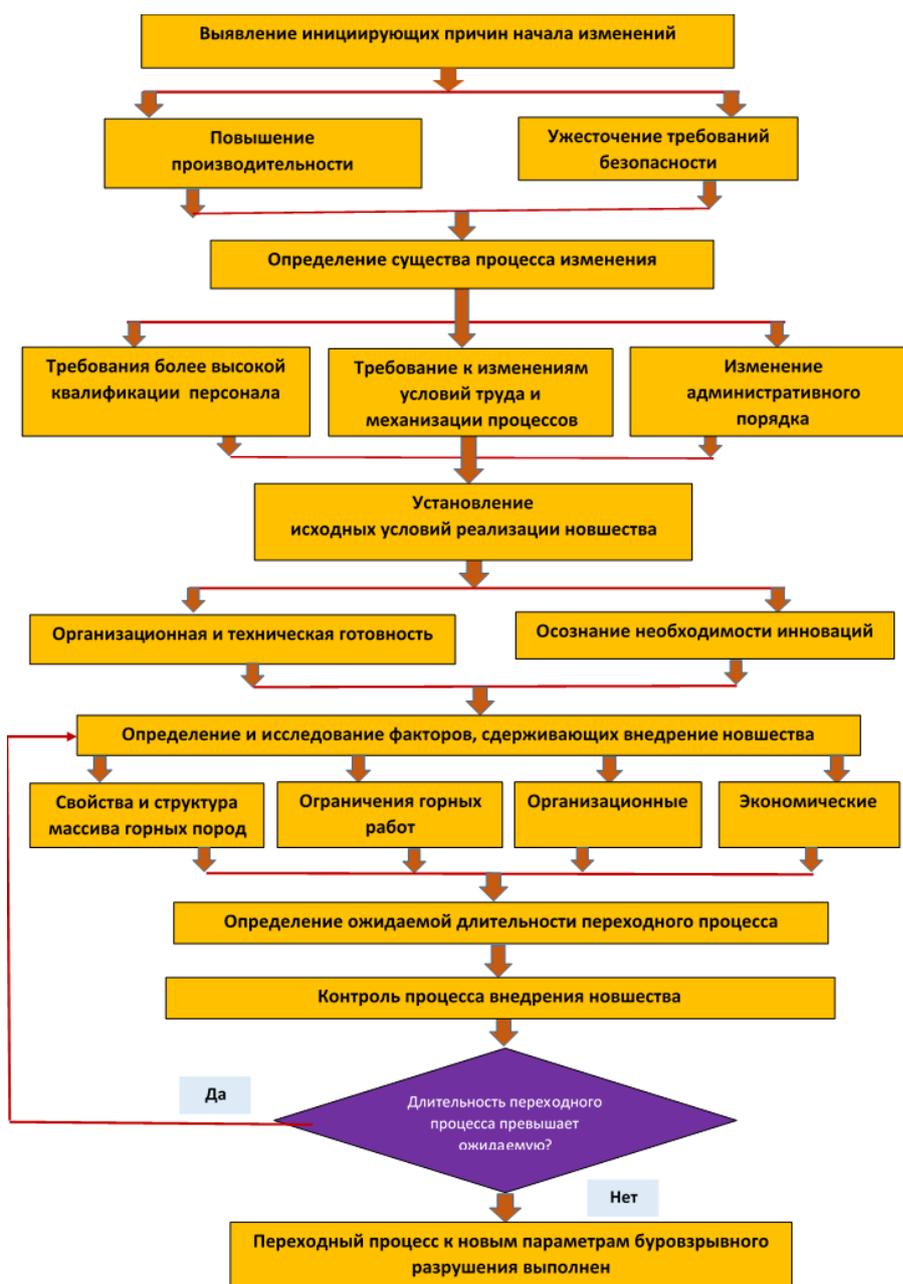


Рис. 2. Общий порядок организации переходных процессов адаптации технологических процессов БВР к меняющимся условиям

Основными причинами возникновения ограничений при адаптации технологии БВР к меняющимся условиям является несвоевременное и неполное получение информации с необходимой степенью детальности о структурных, прочностных свойствах массива горных пород и о влиянии физических процессов взрывного разрушения на охраняемые объекты при распространении энергии взрыва, которая подлежит необходимому учету при планировании и проведении буровзрывных работ в новых условиях.

Выводы

В результате изучения технологического развития БВР в ретроспективе на ведущих карьерах Урала – ПАО «Комбинат Магnezит», ПАО «Ураласбест», АО «ЕВРАЗ КГОК», определены его иницирующие причины, условия внедрения новшеств, причины сдерживания и направления преодоления возможных ограничений при адаптации параметров техники и технологии буровзрывного разрушения к новым условиям применения.

Установлено, что каждый этап технологического развития сопровождается повышением технико-экономических показателей и снижением риска нежелательных и опасных ситуаций при проведении буровзрывных работ. При этом происходит положительное влияние на смежные технологические процессы.

Условием успешной реализации переходных процессов при адаптации технологии БВР к меняющимся условиям является своевременное получение информации с необходимой степенью детальности о структурных, прочностных свойствах массива горных пород и о влиянии физических процессов взрывного разрушения на охраняемые объекты при распространении энергии взрыва, которая подлежит необходимому учету при планировании и проведении БВР в новых условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. ПАО «Комбинат Магnezит». URL: <http://magnezit.ru/ru/manufacture/kombinat/> (дата обращения: 01.02.2023).
2. АО «ЕВРАЗ Качканарский горно-обогатительный комбинат». URL: <https://www.evraz.com/ru/company/assets/evraz-kgok/> (дата обращения: 02.02.2023).
3. ПАО «Ураласбест». URL: <https://www.uralasbest.ru/> (дата обращения: 05.02.2023).
4. Козлов Ю. А. ОАО «Ураласбест» – этапы развития // Горная промышленность. 2007. № 1(71). С. 14–18.
5. Берсенев Г. П. Взрывники Урала. Екатеринбург: АМБ, 2019. 304 с.
6. Берсенев Г. П., Жариков С. Н., Реготунов А. С., Кутуев В. А. Результаты исследования технологического развития буровзрывных работ на карьерах Уральского региона // Проблемы недропользования. 2022. № 3. С. 43–54. <http://dx.doi.org/10.25635/2313-1586.2022.03.043>
7. Жариков С. Н., Реготунов А. С., Кутуев В. А. Современные научные исследования лаборатории разрушения горных пород ИГД УрО РАН и перспективы их развития // Проблемы недропользования. 2022. № 3. С. 73–90. <http://dx.doi.org/10.25635/2313-1586.2022.03.073>

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ ИНИЦИИРОВАНИЯ ЗАРЯДОВ В УСЛОВИЯХ «ПОЛЮС ВЕРНИНСКОЕ»

ПЬЯНЗИН С. Р.¹, ЛЕЛЬ Ю. И.², ЕФРЕМОВ Г. Е.³, МОСКВИТИН Д. В.¹

¹АО «Полюс Вернинское», Бодайбо, Иркутская область

²Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

³ООО «ПТУР» (Проекты и Технологии – Уральский регион),
Североуральск, Свердловская область

Аннотация. Рассмотрен опыт применения электронной системы инициирования зарядов (ЭСИ) I-кон компании Orica в условиях карьера «Полюс Вернинское». Установлено, что ЭСИ позволяет снизить сейсмическое воздействие взрыва на законтурный массив, обеспечить более качественное дробление горной массы, уменьшить ширину развала, увеличить выход горной массы с погонного метра скважины и сократить эксплуатационные затраты на разработку на 6–8 %. Сделан вывод о перспективности и необходимости разработки и внедрения отечественных аналогов системы, в том числе соответствующего программного обеспечения.

Ключевые слова: карьер, буровзрывные работы, электронная система инициирования, гранулометрический состав, ширина развала, сетка скважин, удельный расход ВВ, себестоимость БВР.

EXPERIENCE IN USING AN ELECTRONIC INITIATION SYSTEM CHARGES IN THE CONDITIONS OF "POLYUS VERNINSKOE"

RYANZIN S. R.¹, LEL YU. I.², EFREMOV G. E.³, MOSKVITIN D. V.¹

¹JSC "Polyus Verninskoe", Bodaibo, Irkutsk region

²Ural State Mining University, Ekaterinburg

³ATGM LLC (Projects and Technologies – Ural region), Severouralsk, Sverdlovsk region

Abstract. The experience of using the I-con electronic charge initiation system (ESI) of Orica in the conditions of the Polyus Verninskoye quarry is considered. It is established that the ESI allows to reduce the seismic impact of the explosion on the rock mass, to ensure better crushing of the rock mass, to reduce the width of the collapse, to increase the output of rock mass from the linear meter of the well and to reduce the operating costs of development by 6-8%. The conclusion is made about the prospects and the need to develop and implement domestic analogues of the system, including the corresponding software.

Keywords: quarry, drilling and blasting operations, electronic initiation system, granulometric composition, camber width, grid of wells, specific consumption of explosives, self-cost of BVR.

Компания «Полюс Вернинское» осуществляет разработку одним карьером золоторудных месторождений Вернинское, Первенец, участка Медвежий (Западная часть) и участка Смежный, которые относятся к одному месторождению и рассматриваются как единый объект, состоящий из четырех участков. Месторождение Вернинское открыто в 1974 г. Названо по имени протекающего ручья Верный. Горные работы ведутся с 2007 г. По результатам проведенных геологоразведочных работ в период 2006–2013 гг. суще-

ственно расширены границы Вернинского месторождения – установлено продолжение известных рудных тел месторождения, выявлены новые рудные зоны.

Отрабатываемые месторождения расположены в центральной части Бодайбинского района Иркутской области. Горные работы ведутся на двух участках Вернинского карьера – углубочном и нагорном. К основным параметрам месторождения, благоприятным для открытого способа разработки, относятся:

- довольно пологое залегание рудных тел и их выход на поверхность, что обеспечивает невысокий коэффициент вскрыши на начальном этапе развития карьера;
- относительно крупные по масштабам рудные тела, позволяющие организовать широкий фронт вскрышных работ;
- прочные скальные вмещающие породы, что обеспечивает устойчивость бортов карьера;
- мерзлое состояние горной массы на верхних и средних горизонтах, что ограничивает возможность водопритоков подземных подмерзлотных вод на начальном этапе развития карьера.

Вмещающие породы и руды характеризуются крепостью по шкале проф. М. М. Протодяконова от 9 до 21 при среднем значении 12,9 и имеют II категорию по трещиноватости. Среднее значение пород по буримости – IX, по взрываемости – IV, по трудности экскавации – V.

В настоящее время достигнута отметка +690 м в углубочной части. Глубина карьера на конец отработки составит 520 м. Средний коэффициент вскрыши $7 \text{ м}^3/\text{т}$. Выемка руды и вскрыши производится уступами высотой 10 м с использованием экскаваторов ЭКГ-10, WK-20, PC-2000, PC-1250 и погрузчика САТ-992. Экскаваторы PC фирмы Komatsu преимущественно используются для отработки маломощных рудных тел. Транспортирование руды и вскрышных пород производится автосамосвалами HD-785, HD1500 фирмы Komatsu и Cat-785C фирмы Caterpillar. Бурение взрывных скважин производится станками СБШ-250МНА-32, СБШ-270, DML-HP, SMART ROC, БС-215. В качестве основного взрывчатого вещества используется эмульсионное ВВ Березит Э-70.

В настоящее время в карьере применяется неэлектрическая система взрывания Rionel с использованием детонаторов с фиксированным значением замедления. Недостатки системы заключаются в том, что она не позволяет регулировать гранулометрический состав взорванной горной массы, сейсмическое воздействие взрыва и ширину развала, вследствие чего наблюдается смещение развала на нижележащую рабочую площадку. Эти проблемы, как показывает зарубежный опыт, решаются использованием электронных систем инициирования (ЭСИ). Электронная система инициирования I-кон компании Orica была приобретена предприятием и прошла испытания на карьере в период с 2021 по 2022 г.

ЭСИ I-кон состоит из электронного детонатора, монтажного провода, регистратора «Логгер», взрывной машинки «Бластер 3000», программного обеспечения «Shot Plus» и шашки детонатора ПТ-П500 (рис. 1.).

Конструктивные схемы детонаторов различных типов представлены на рис. 2.

Программируемый электронный детонатор имеет встроенную цифровую электронную схему – идентификационный номер. Принцип работы данной системы основан на двусторонней коммуникации между детонатором и компонентами системы Логгером и Бластером. При помощи Логгера, присоединенного к детонатору, определяется наличие детонатора в скважине, затем идентификационный номер детонатора настраивается нужное время замедления.

Логгер – переносное устройство, предназначенное для регистрации и программирования детонаторов на необходимый интервал замедления. Кроме идентификации детонаторов логгер выполняет функции тестирования детонаторов, редактирование изменения запрограммированного времени задержки и измерения токов утечки.



Рис. 1. Компоненты ЭСИ I-kon:

1 – электронный детонатор I-kon RX II; 2 – монтажный провод Harness Wire; 3 – регистратор «Логгер II»; 4 – взрывная машинка «Бластер 3000»; 5 – программное обеспечение «Shot Plus»; 6 – шашки детонатора ПТ-П500

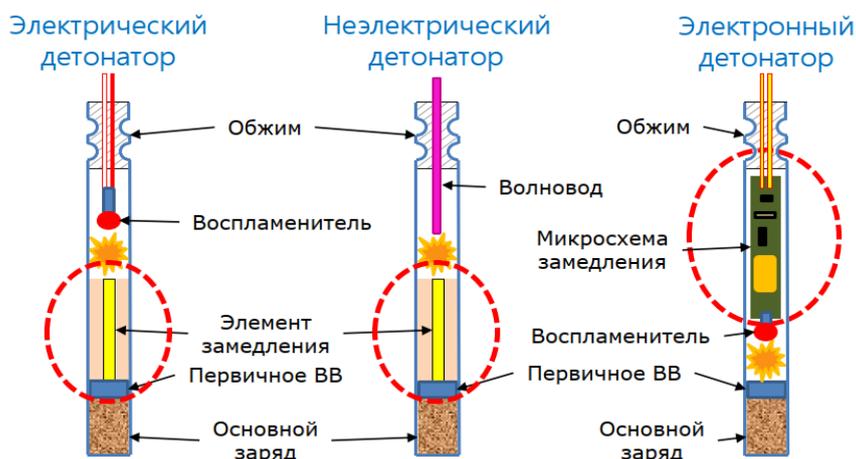


Рис. 2. Конструктивные схемы детонаторов

Бластер – переносное устройство управления и контроля, отвечающее за непосредственное инициирование запрограммированных детонаторов. Регистрация осуществляется по строго отведенному пути.

Программный модуль во время регистрации запоминает идентификационный номер детонатора, номер по порядку и замедление. Замедление можно менять как во время регистрации, так и находясь далеко от блока. Программный модуль позволяет в случае необходимости пропустить скважины и вернуться к ним позже. Имеется возможность добавлять лишние детонаторы. Во время регистрации скважин программный модуль сразу сообщает о неисправности детонатора при ее наличии.

Сравнение результатов взрывов с использованием различных систем инициирования произведена при взрывании блоков 820-53 и 820-52 (табл. 1). Блоки представлены породами, идентичными по показателям крепости и взрываемости. Блоки обуривались станками СБШ-250МНА-32 и DML. Скважины вертикальные, забуренные в шахматном порядке.

Таблица 1. Параметры взрывных работ при использовании различных систем инициирования

Параметры	Номер блока	
	820-52	820-53
Система инициирования	I-kon	Rionel
Диаметр скважины, мм	233	233
Сетка скважин, м × м	5,6 × 3,0; 6,5 × 5,6; 7,0 × 6,0	5,6 × 3,0; 6,5 × 5,6; 7,0 × 6,0
Средняя глубина скважины, м	9,5	10,9
Длина заряда, м	5,5–8,0	6,0–7,0
Величина перебура, м	1,5	1,0; 1,5
Длина забойки, м	4,5–5,0	4,5–5,0
Вес заряда в скважине, кг	308–448	337–393
Объем взрывного блока, тыс. м ³	71,7	118,4
Расход ВВ «Березит Э-70», т	77,6	155,4
Расход детонаторов ПТ-П750, кг	193	324
Удельный расход ВВ, кг/м ³	1,07	1,32
Выход горной массы с 1 пог. м скважины, м ³ /м	33,3	25,1

Отбойка блока 820-53 производилась на взорванную горную массу блока 820-52. В результате применения ЭСИ на 23,4 % удалось снизить удельный расход ВВ и в 1,3 раза увеличить выход горной массы с 1 пог. м скважины. Применение ЭСИ также повлияло на изменение грансостава взорванной горной массы (табл. 2). Отмечен рост производительности экскаватора WK-20 на 9 % в том числе благодаря более интенсивному измельчению горной массы (рис. 3).

Сейсмическое действие взрыва при использовании ЭСИ I-kon составило 85,6 мм/с, что в 1,6 раза ниже, чем при применении неэлектрической системы Rionel.

При взрывании блоков №№ 820-48 и 820-50 проводилась оценка эффективности использования ЭСИ I-kon при увеличении сетки скважин с 6,5 × 5,6 м до 7,0 × 6,0 м (табл. 3).

Таблица 2. Гранулометрический состав взорванной горной массы при использовании различных систем инициирования

Параметры	Номер блока	
	820-52	820-53
Система инициирования	I-kon	Rionel
Средний диаметр куска взорванной горной массы, см	9,4	16,4
Диаметр максимального куска, см	44,8	189,4
Содержание кусков диаметром, %:		
< 30 см	88,3	78,7
38–80 см	11,8	17,0
> 80 см	0	4,3

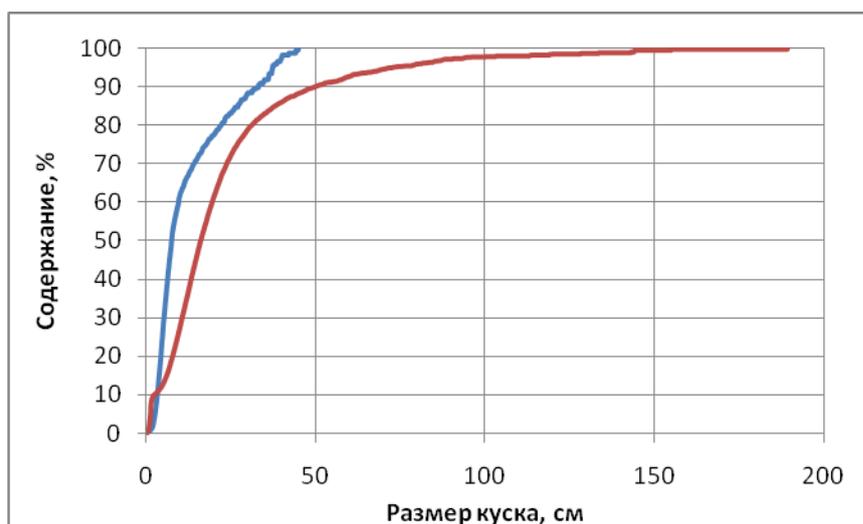


Рис. 3. Гранулометрический состав взорванной горной массы при использовании различных систем инициирования:

— Блок 820-52 (I-kon); — Блок 820-53 (Rionel)

Таблица 3. Параметры взрывных работ при использовании различных систем инициирования и изменении сетки скважин

Параметры	Номер блока	
	820-48	820-50
Система инициирования	Rionel	I-kon
Диаметр скважины, мм	233	233
Сетка скважин, м × м	6,5 × 6,5	7,0 × 6,0
Средняя глубина скважины, м	11,4	10,7
Длина заряда, м	6,0–7,0	6,0–7,0
Величина перебура, м	1,0	1,5
Длина забойки, м	4,5–5,0	4,5
Вес заряда в скважине, кг	349–407	365–393
Объем взрывного блока, тыс. м ³	101,0	101,0
Расход ВВ «Березит Э-70», т	110,1	105,0
Расход детонаторов ПТ-П750, кг	220	227
Удельный расход ВВ, кг/м ³	1,09	1,04
Выход горной массы с 1 пог. м скважины, м ³ /м	32,8	38,2

При визуальном осмотре выявлен более мелкий гранулометрический состав горной массы во взорванном блоке 820-50 по сравнению с блоком 820-48. Отмечен рост производительности экскаватора на 8 % в том числе за счет более интенсивного дробления.

В результате экономических расчетов установлено, что применение ЭСИ I-kon на блоке 820-50 позволило увеличить выход горной массы с 1 п. м скважины на 16,5 % и снизить себестоимость производства БВР на 1,7 % с 63,2 до 62,1 руб/м³. Небольшое снижение себестоимости объясняется высокой стоимостью компонентов ЭСИ I-kon.

Опыт применения электронной системы инициирования зарядов I-kon в условиях карьера «Полос Вернинское» позволяет сделать следующие выводы.

1. Электронная система инициирования является новым этапом совершенствования БВР в карьерных условиях, основанном на применении современных информационных технологий.

2. ЭСИ позволяет снизить сейсмическое воздействие взрыва в 1,6 раза и обеспечить более качественное дробление горной массы, следствием чего является повышение безопасности ведения взрывных работ в карьерных условиях. Практика применения ЭСИ положительно сказывается на росте производительности выемочного

оборудования. С учетом влияния организационных мероприятий зафиксирован рост производительности до 8–10 %.

3. Применение ЭСИ на блоке 820-48 позволило сократить ширину развала горной массы на 3,5 м и предотвратить перемещение части развала на нижележащую рабочую площадку.

4. Применение ЭСИ позволило увеличить сетку скважин с $6,5 \times 5,6$ до $7,0 \times 6,0$ м, что обеспечило сокращение расхода ВВ на 8,3 % без снижения качества дробления горной массы.

5. Применение ЭСИ обеспечило снижение себестоимости буровзрывных работ на 1,7 %. С учетом снижения затрат на смежные технологические процессы (экскавация, разделка негабарита, транспорт) общая экономия эксплуатационных расходов составила до 6–8 %. Небольшое снижение себестоимости БВР объясняется, в первую очередь, высокой стоимостью компонентов импортной ЭСИ I-кон.

6. Положительный опыт использования ЭСИ I-кон в АО «Полюс Вернинское» свидетельствует о необходимости разработки и внедрения отечественных аналогов системы, в том числе соответствующего программного обеспечения.

РАЗРАБОТКА ЭКСПРЕСС-МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОНТУРНОГО ВЗРЫВАНИЯ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОСЕДНИХ ЗАРЯДОВ ПРИ ВЕДЕНИИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА КАРЬЕРАХ

ЖАРИКОВ С. Н., КУТУЕВ В. А.

Институт горного дела УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. В статье представлены некоторые результаты исследований взаимодействия при взрыве соседних зарядов ВВ. Обозначены вопросы, сопутствующие изучению формирования в массиве горных пород поверхностей разрыва для предохранения от распространения взрывных волн. Описаны методические разработки Института горного дела Уральского отделения Российской академии наук для экранирования взрыва. Изложены возможные варианты негативных последствий, если защитным мероприятиям не уделять должного внимания. Обозначен подход к регулированию параметров буровзрывных работ в зависимости от давления взрыва и свойств горных пород. Приведена номограмма для упрощённого определения действия зарядов ВВ в массиве горных пород, позволяющая оценить наиболее рациональные соотношения диаметров зарядов и диаметров скважин, а также оценить примерное разрушающее действие с расстоянием.

Ключевые слова: контурное взрывание, давление взрывных газов, взрывные работы, разрушение горных пород, физико-механические свойства горных пород, экранирование взрыва

DEVELOPMENT OF AN EXPRESS METHOD FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF PRE-SPLITTING BASED ON THE STUDY OF THE INTERACTION OF NEIGHBORING CHARGES DURING BLASTING OPERATIONS AT QUARRIES

ZHARIKOV S. N., KUTUEV V. A.

Institute of Mining of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg

Abstract. The article presents some results of studies of the interaction during the explosion of neighboring explosive charges. The issues accompanying the study of the formation of rupture surfaces in the rock mass to protect against the propagation of explosive waves are outlined. Methodological developments of the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences for explosion shielding are described. Possible variants of negative consequences are outlined if adequate attention is not paid to protective measures. An approach to regulating the parameters of drilling and blasting operations depending on the explosion pressure and rock properties is indicated. A nomogram is given for a simplified determination of the action of explosive charges in an array of rocks, which makes it possible to estimate the most rational ratios of charge diameters and well diameters, as well as to estimate the approximate destructive effect with distance.

Keywords: pre-splitting, pressure of explosive gases, blasting, destruction of rocks, physical and mechanical properties of rocks, explosion shielding

Введение

Контурное взрывание применяют в горном деле достаточно давно, и до середины XX в. его особо не выделяли в отдельное направление взрывных работ. В этом сначала не

было надобности. Ситуация изменилась, когда началось строительство большого числа крупных промышленных объектов, где наряду с прямым назначением контурного взрывания [1, 2] его начали использовать для экранирования взрывов. При разработке месторождений открытым способом такой экран называется отрезной щелью. Смысл заключается в следующем. Чтобы не повредить участок борта карьера и сохранить его устойчивость, при подходе горных работ на расстояние 40–50 м в рамках принятой бермы от борта бурят сближенные скважины (контурный ряд на формирование отрезной щели), которые взрывают заранее. Дальнейшее приближение фронта горных работ к откосу осуществляют с экранированием за счет созданной отрезной щели. Протяженность контурного ряда, длину скважин и параметры зарядов рассчитывают согласно условиям и применяемым средствам. Экран призван создать поверхность разрыва как для воспрепятствования прохождению сейсмических волн в направлении откоса, так и для уменьшения трещинообразования при подходе горных работ к отрезной щели за ее границу к откосу. В некоторых случаях контурные ряды могут применять для целей дренажа [3].

Глубина современных крупных рудных карьеров обычно превышает 400 м. Устойчивое состояние борта обеспечивается его конструкцией, согласующейся с устойчивым углом откосов уступов при технологически обоснованной их высоте. Взрывные работы существенно влияют на устойчивость откосов [4] и если взрыв не экранировать, то возможны: заколообразование, сползание части пород, либо обрушение значительной части борта. Как правило, такие проявления внезапны, и обрушение всегда связано с колоссальными материальными потерями, и часто – с человеческими жертвами.

Теоретические аспекты исследований

Критические явления, возникающие при отработке крупных карьеров, обозначили направления исследований для повышения уровня промышленной безопасности. Одним из таких направлений является оценка влияния взрывных работ на устойчивость бортов карьера. Детально рассматриваются как вопросы контурного взрывания и обеспечения нормального экранного эффекта отрезной щели, так и возможности снижения сейсмического воздействия и обеспечения необходимой степени дробления горной массы в пределах приконтурной зоны. Среди специалистов весь комплекс сопутствующих вопросов принято обозначать как заоткоска [5–8].

Наиболее методически выраженной в части определения параметров зарядов является работа [5], где сформулированы основные положения по определению параметров БВР при подходе к откосу на малые расстояния. Там же указано, что при реализации метода предварительного щелеобразования необходимо обеспечить выполнение двух условий.

1. Должна быть исключена возможность образования новых трещин в приоткосной зоне. Качественное раскрытие щели достигается, когда давление меньше сжимающих напряжений в тыльном направлении и больше растягивающих в направлении между скважинами, т. е. выполняется условие: $\sigma_p < P < \sigma_{сж}$, где σ_p и $\sigma_{сж}$ – прочность скальной породы на растяжение и сжатие соответственно, в которой формируется отрезная щель на растяжение и сжатие, МПа; P – давление взрывных газов на стенки скважин отрезной щели, МПа.

2. Давление при взрыве в приконтурной зоне за отрезной щелью возле откоса не должно превышать допустимого, то есть вызывающего раскрытие существующих трещин и образование новых. Относительная величина деформаций должна быть не более $\varepsilon_{кр} = 4 \cdot 10^{-4}$. Однако, не всегда получается достигнуть таких результатов. Отрезная щель не всегда представляет собой сплошную поверхность разрыва. Может быть заполнена местами мелкой фракцией пород и перемешана с растворенными в воде отдельными химическими соединениями. Поэтому местами появляются области для интенсивного прохождения сейсмических волн, которые, в свою очередь, распространяются значительно дальше в тыл массива. Это очень важный момент, потому что сейсмика в некоторых породах может приводить к межблочным подвижкам на расстояния в три и более раза превышающие

максимальную зону трещинообразования. То есть, именно на таких расстояниях от взрыва относительная величина деформаций будет не более $\varepsilon_{кр} = 4 \cdot 10^{-4}$. При определении конструкций и схем инициирования зарядов в приконтурной зоне этот факт также необходимо учитывать.

Методические рекомендации [5] предполагают решение следующих задач:

- определение ширины зоны неупругих деформаций при взрыве;
- расчет параметров БВР при формировании отрезных щелей;
- установление порядка подхода к предельному контуру.

Последнее связано с инициированием заряда и наиболее ярко проявляется в сейсмическом эффекте [9, 10].

Сейсмическое действие взрыва является результатом прохождения в грунте волны напряжения вследствие ударной волны, мощность которой зависит от объема и скорости движения продуктов детонации (ПД), а также от структуры трещин в горном массиве [11-13]. Интенсивность колебаний снижается с увеличением расстояния от эпицентра взрыва. Также интенсивность снижается при отражении волны от поверхности разрыва, как естественной, так и искусственно создаваемой в процессе экранирования. Расстояния до охраняемых участков или объектов при производстве взрывных работ, как правило, не подлежат изменению, так как места взрывов определяются технологией работ. В связи с этим управление сейсмическим действием взрыва осуществляют преимущественно путем изменения свойств и параметров зарядов ВВ. Объем ПД регулируют изменением массы заряда, скорость ПД – изменением скорости детонации (замена типа ВВ или изменение его состава). При известном расстоянии до охраняемого объекта его сейсмическая защита обеспечивается уменьшением массы одновременно взрываемого ВВ, применением ВВ с более низкой скоростью детонации, создающего пониженное детонационное давление, либо добавлением в заряд тел, увеличивающих турбулентность ПД.

Главным критерием оценки сейсмического действия взрывов является скорость сейсмических колебаний. Нарастание напряжения в массиве происходит резко, а спад – медленно. Именно при спаде возникают гармонические колебания, выражающиеся на большом расстоянии от эпицентра взрыва в виде сейсмических явлений. В ближней зоне взрыва при нарастании напряжений происходит разрушение, а трещинообразование протекает с максимальной скоростью. Поэтому при подходе к предельному контуру карьера необходимо учитывать еще и вероятное трещинообразование. Решение данного вопроса подробно освещено в работе [5]. Однако сама методика была разработана для широко применявшихся в прошлом веке взрывчатых материалов и средств инициирования, поэтому требует уточнения. В том виде ее использование носит ограниченный характер. Тем не менее физические закономерности разрушения и поэлементная геометрия, заложенные в ней, могут служить критериями для сравнения вариантов определения зоны трещинообразования, в том числе в результате прямых расчетов сейсмических параметров взрывов согласно зависимостям, указанным в [13]. Целесообразно сравнивать зоны и устанавливать, находятся ли они в ограниченных пределах или нет. Вместе с тем ряд исследователей пришли к определению этих зон в том же диапазоне [14]. Начало распространения сейсмических колебаний на поверхности происходит при расстояниях, превышающих 30 м, а трещинообразование наблюдается обычно в пределах этой зоны. Поэтому отрезная щель при своевременном ее создании способна не только предотвратить трещинообразование, но и отразить сейсмическую волну, понизив ее энергетические характеристики.

Регулирование взрывной нагрузки при взрыве контурного ряда на создание отрезной щели осуществляют несколькими способами:

- подбором ВВ с необходимыми свойствами;
- установлением рационального соотношения между диаметрами скважины и заряда;
- выбором рационального расстояния между скважинами;
- замедлением взрывания зарядов.

Первые три пункта реализуют во взаимосвязи. Последний пункт служит для ограничения массы заряда в ступени замедления, а также для обеспечения одновременной работы соседних скважин в направлении компенсационной.

Построение номограммы

Для построения зависимостей были выбраны следующие значения параметров ВВ (см. табл. 1).

Таблица 1. Детонационные характеристики ВВ, принятые для построения номограммы

Тип ВВ	Гранулолitol	Современные эмульсионные ВВ типа порэмит и нитронит [15, 16]			Граммонит 79/21
		4800	4500	4200	
Скорость детонации, м/с	5000	4800	4500	4200	3700
Плотность ВВ, г/см ³	1,0	1,25	1,2	1,15	0,9
Давление детонационной волны, МПа	6250	7200	6075	5071	3080

Диаметры скважин были выбраны от 120 до 270 мм. Диаметры зарядов приняты в диапазоне 50–120 мм. Это соответствует как современному буровому инструменту, так и обычно применяемым изделиям с различными ВВ для контурного взрывания.

Порядок расчетов осуществлен согласно работе [7]. Были оценены изменения давления на стенки скважин разного диаметра при различных диаметрах заряда и давления на расстоянии в зависимости от давления на стенки скважины. Эти зависимости сведены в номограмму, представленную на рис. 1.

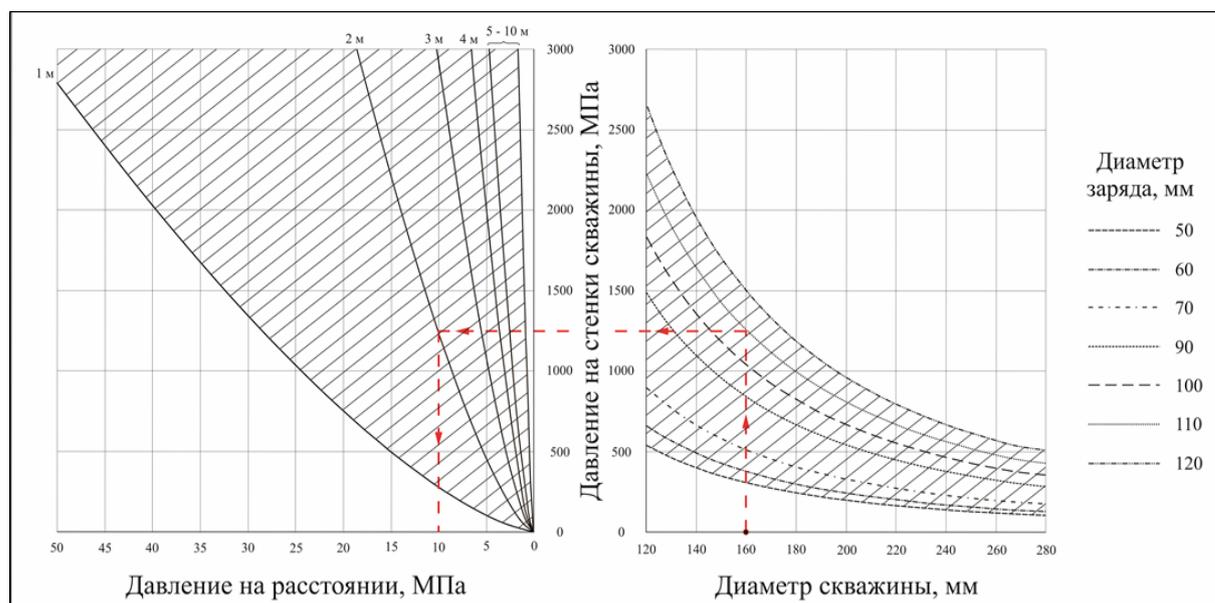


Рис. 1. Номограмма для определения параметров контурного взрывания с применением ВВ со скоростью детонации в диапазоне 3700–5000 м/с и плотностью заряжения от 900 до 1250 кг/м³

В зависимости от вариантов соотношения диаметров скважины и диаметра заряда можно определить давление, оказываемое на стенки, и уменьшение его с расстоянием.

Номограмма справедлива для:

- гирляндного заряда из штатных и эмульсионных изделий (патронированные ВВ) диаметром 50–90 мм (ограничения из-за массы гирлянды ≤ 100 кг) и диаметра скважины 120–270 мм;

- шлангового заряда из ЭВВ диаметром 100–120 мм и диаметра скважины 160–270 мм;
- шлангового заряда из штатных гранулированных ВВ диаметром 50–120 мм и диаметра скважины 120–270 мм;
- сплошного заряда диаметром 120 мм и диаметра скважины 120 мм.

Обсуждение результатов

Построенная номограмма выражает средние значения давления от взрыва заряда контурного ряда на расстоянии. Сравнивая величину давления с прочностью массива, можно определить, на каком расстоянии давления хватит для пробития между соседними зарядами и образования отрезной щели, а на каком нет. При этом следует учитывать, что прочность пород в массиве меньше, чем прочность их в образце. Это связано со структурным ослаблением пород ввиду масштабного фактора. Если коэффициент структурного ослабления не установлен, то для укрупненных расчетов прочность в массиве можно принять 0,1 от прочности пород в образце. Также при известной взрываемости пород и соответствующей категории трещиноватости можно приблизительно установить средний размер отдельности в массиве и отнести полученное значение к числителю, указанному в методике [17]. После установления приблизительной прочности массива можно подобрать рациональные параметры зарядов в контурных рядах. Например, расположить заряды не только последовательно, но и через компенсационную скважину, как показано на рисунке 2.

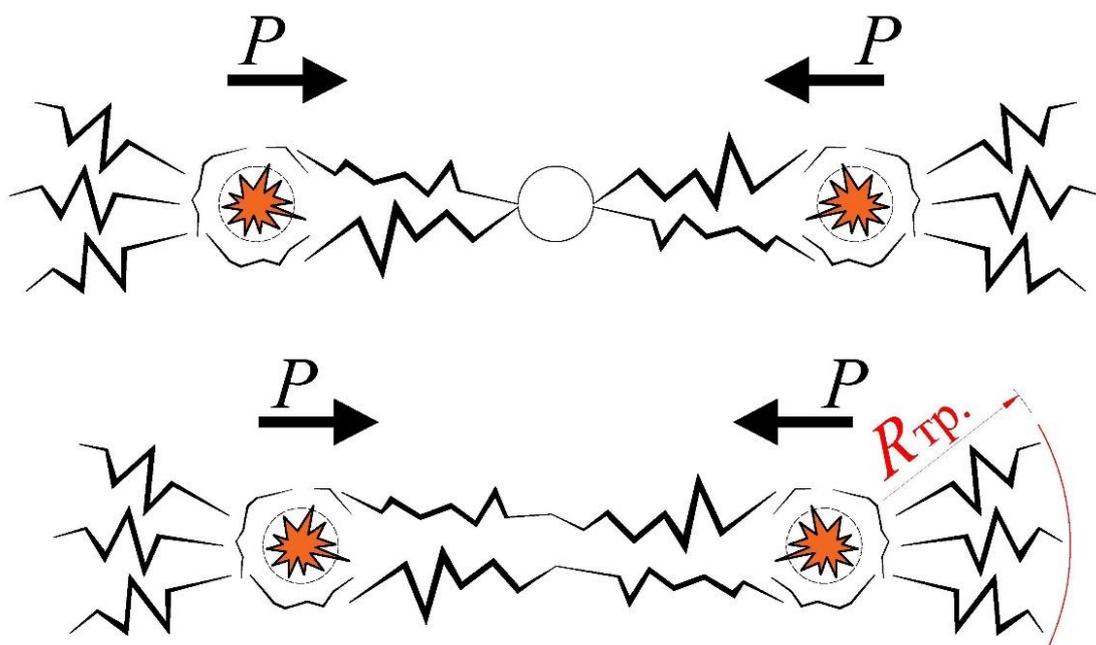


Рис. 2. Схема, поясняющая цель определения разрушающего действия зарядов контурного ряда:
 P – давление, $R_{тр}$ – радиус развития трещин

Следует также обратить внимание на обеспечение нормального состояния отрезной щели и ее экранирующего эффекта. На это было также указано в работах [5, 18]. Если щель обводнена, то даже при хорошем раскрытии она пропускает волну. Если не обращать на это внимания, то рано или поздно возникнут сомнения в эффективности экранирования. Отрезную щель взрывают, а откосы продолжают обрушаться. В связи с этим может возникнуть рациональное предложение взрывать технологические блоки вообще без предварительного щелеобразования. Все это может привести к существенным проблемам, так как при отсутствии отрезной щели, помимо волн, в тело откоса будут распространяться еще и трещины, ведущие к заколообразованию. Необходимо всегда помнить, что отрезная щель защищает как от возникновения трещин, так и от сейсмической волны, вызы-

вающей сопутствующее движение пород. Даже в случае обводнения она все равно продолжает защищать от трещин. Для защиты от сейсмического воздействия ее необходимо осушать. Дренаж отрезной щели может быть выполнен путем создания скрытой дрены. Суть этого способа состоит в создании зоны повышенной фильтрации (дрены), соединяющей отрезную щель с карьерным пространством. Для этого между отрезной щелью и границей приконтурной зоны по нормали к бровке погашаемого уступа бурят ряд технологических скважин. Глубина скважин должна достигать подошвы погашаемого уступа, расстояние между скважинами определяют согласно условиям. В приближении его можно принять как 1–1,3 расстояния между зарядами дробления. В скважины закладывают донные заряды массой 6–12 % от массы заряда дробления, но не более половины максимальной массы заряда, который при опускании в скважину может в руках удержать взрывник. Донные заряды взрывают мгновенно, не позднее чем за неделю до отработки последней приконтурной заходки. Таким образом, на уровне подошвы погашаемого уступа создают сквозную полость (скрытую дрену), обеспечивающую возможность стока воды, поступающей из законтурного массива. Естественно, что такие дрены создают только на участках, где отрезная щель не имеет выхода на уже заоткошенный уступ. После полного погашения верхнего рабочего уступа скрытую дрену формируют на следующем уступе, что значительно упрощает технологию заоткоски, повышает качество оформления уступа и позволяет увеличить угол откоса.

Выводы

На основе известных закономерностей протекания процесса взрыва скважинного заряда разработана номограмма для определения параметров контурного взрывания при создании отрезной щели с целью снижения негативного влияния буровзрывных работ на состояние откосов в приконтурной зоне. Обозначены сопутствующие контурному взрыванию проблемы, необходимость решения которых в полной мере проявляется при заоткоске уступов на открытых горных работах. Вынесены на обсуждение технические приемы по улучшению экранного действия отрезной щели при ведении взрывных работ в приконтурной зоне карьера.

Направления дальнейших исследований в области контурного взрывания и решения сопутствующих вопросов заоткоски уступов связаны с развитием физических представлений о взрыве, математических методов описания состояния массива, способов изучения прочностных характеристик и структуры горных пород, а также особенностей волновых процессов в массиве горных пород.

Совершенствование разработанной номограммы возможно путем присоединения отдельных частей либо включения как составной части в другую номограмму, где будет обозначена взаимосвязь со свойствами пород в естественном залегании. Это необходимо для того, чтобы пользователь не сам определял в приближении величину структурного ослабления, а имел под рукой соответствующую упрощенную схему.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уфатова З. Г., Керимова С. Н., Люфт Е. Д. Применение контурного взрывания при подземном строительстве горных выработок и добыче руд // Культура. Наука. Производство. 2019. № 4. С. 36–39.
2. Оверченко М. Н., Мозер С. П., Галушко Ф. И., Луньков А. Г. Развитие схем контурного взрывания для проходки подземных горных выработок // Взрывное дело. 2016. № 115-72. С. 202–213.
3. Сабиров Р. Ш., Леоненко Н. А. Способы оптимизации буровзрывных работ на золоторудном Албазинском месторождении // ГИАБ. 2017. № 7. С. 168-173.
4. Панжин А. А., Харисов Т. Ф., Харисова О. Д. Обоснование устойчивых параметров бортов карьера на основе рейтинговой системы оценки массива // ФТПРПИ. 2019. № 4. С. 10-19.
5. Антоненко Л. К., Зотеев В. Г. Опыт применения специальной технологии заоткоски скальных уступов в СССР и за рубежом: обзорная информация. Сер.: Горнорудное производство. М., 1986. Вып. 1. 27 с.

6. Зотеев В. Г., Макаров А. Б., Эпштейн И. В. Оценка возможности использования «Руководства по проектированию бортов карьеров» при проектировании открытой разработки рудных месторождений в условиях современной России // Золото и технологии. 2018. № 1(39). С. 52-57.
7. Zharikov S., Kutuev V. About Order of Comprehensive Solving the Seismic and Pre-splitting Issues for Drill-and-Blastin Open-Pits // Trigger Effects in Geosystems: The 5th International Conference, Sadovsky Institute of Geospheres Dynamics of Russian Academy of Sciences. Series: Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Cham : Springer, 2019. P. 437–445.
8. Фокин В. А. Проектирование и производстве буровзрывных работ при постановке уступов в конечное положение на предельном контуре глубоких карьеров. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. 231 с.
9. Белин В. А., Холодилов А. Н., Господариков А. П. Методические основы прогнозирования сейсмического действия массовых взрывов // Горный журнал. 2017. № 2. С. 66-69. <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2017.02.12>
10. Аленичев И. А., Рахманов Р. А., Шубин И. Л. Оценка действия взрыва скважинного заряда в ближнем поле с целью оптимизации параметров буровзрывных работ в приконтурной зоне карьера // ГИАБ. 2020. № 4. С. 85-95.
11. Адушкин В. В., Соловьев С. П. Генерация электрического и магнитного поля при воздушных, наземных и подземных взрывах // Физика горения и взрыва. 2004. Т. 40. № 6. С. 42-51.
12. Садовский М. А. Геофизика и физика взрыва: избранные труды. М.: Наука, 2004. 440 с.
13. Мосинец В. Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. М.: Недра, 1976. 271 с.
14. Фадеев А. Б., Каргузов М. И., Кузнецов Г. В. Методические указания по обеспечению устойчивости откосов и сейсмической безопасности зданий и сооружений при ведении взрывных работ на карьерах. Л.: ВНИМИ, 1977. – 17 с.
15. Меньшиков П. В., Жариков С. Н., Кутуев В. А. Определение ширины зоны химической реакции промышленного эмульсионного взрывчатого вещества порэмит 1А на основе принципа неопределенности в квантовой механике // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 5-2. С. 121–134. http://dx.doi.org/10.25018/0236_1493_2021_52_0_121
16. Сеницын В. А., Меньшиков П. В., Кутуев В. А. Определение основных характеристик взрывчатых веществ и воздействия взрыва на окружающую среду на основе применения измерительного оборудования "ДАТАТРАПИ" // Устойчивое развитие горных территорий. 2018. Т. 10. № 3(37). С. 383–391. <http://dx.doi.org/10.21177/1998-4502-2018-10-3-383-391>
17. Инструкция по креплению горизонтальных горных выработок и их сопряжений на железорудных шахтах Урала и Казахстана. – Свердловск : Институт горного дела МЧМ СССР, 1986. – 45 с.
18. Жариков С. Н., Кутуев В. А. Выбор параметров взрывной отбойки в приконтурной зоне карьера // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2022. № 6. С. 80–88. <http://dx.doi.org/10.15372/FTPRPI20220609>

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НАЛИПАНИЯ И НАМЕРЗАНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ НА РАБОЧЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЭКСКАВАТОРОВ

МАМАЕВА М. С.¹, ГОРЮНОВ С. В.¹, ХОРЕШОК А. А.²

¹Филиал Кузбасского государственного технического университета им. Т. Ф. Горбачева
в г. Прокопьевске, Прокопьевск Кемеровская область

² Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, Кемерово

Аннотация. Налипание и намерзание горной массы на поверхности рабочего оборудования экскаваторов при проведении вскрышных работ снижает эффективность работы экскаватора и предприятия в целом, для предотвращения проистекания данных процессов существует необходимость изучения физической модели взаимодействия частиц грунта с поверхностями рабочего оборудования экскаваторов. Моделирование процессов налипания и намерзания горной массы на рабочее оборудование экскаваторов позволит выявить основные факторы, влияющие на эти процессы, и разработать наиболее эффективные способы борьбы с ними.

Ключевые слова: вскрыша, налипание, намерзание, процесс, моделирование, экскаватор, рабочее оборудование, способы борьбы.

MODELING OF THE PROCESSES OF STICKING AND FREEZING OF ROCK MASS ON THE WORKING EQUIPMENT OF EXCAVATORS

MAMAIEVA M. S.¹, GORYUNOV S. V.¹, HORESHOK A. A.²

¹Branch of Kuzbass State Technical University named after T. F. Gorbachev in Prokopyevsk,
Prokopyevsk, Kemerovo region

²Kuzbass State Technical University named after T. F. Gorbachev, Kemerovo

Abstract. Sticking and freezing of rock mass on the surface of excavators' working equipment during stripping reduces the efficiency of the excavator and the enterprise as a whole, in order to prevent the occurrence of these processes, there is a need to study the physical model of the interaction of soil particles with the surfaces of excavators' working equipment. Modeling of the processes of sticking and freezing of rock mass on the working equipment of excavators will allow identifying the main factors affecting these processes and developing the most effective ways to combat them.

Keywords: overburden, sticking, freezing, process, modeling, excavator, working equipment, methods of struggle.

Одним из основных технологических процессов горных работ, для подготовки запасов полезного ископаемого к выемке, является проведение вскрышных работ. При расчете затрат на проведение вскрышных работ, 65% от общих затрат относится к затратам на проведение экскавационных работ (рис. 1).

В зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий, на вскрышных работах используются самые разные типы экскаваторов. Навесное оборудование экскаваторов также значительно отличается [1]. Типы и назначения описаны в таблице № 1.

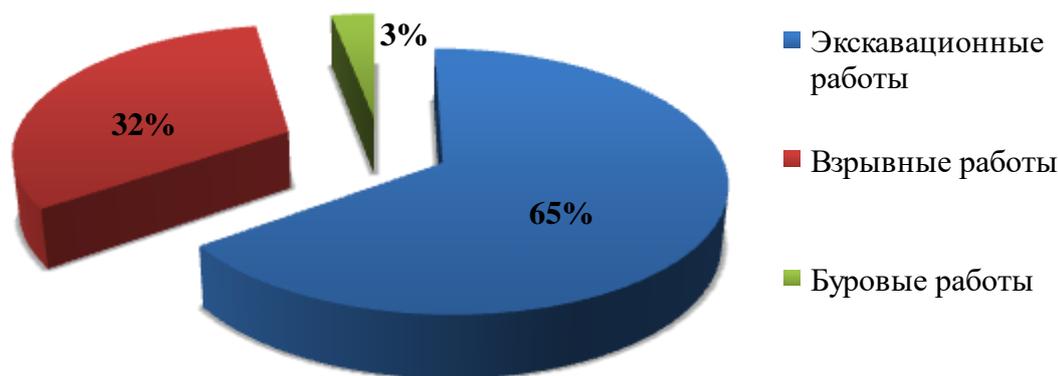


Рис. 1. Затраты на ведение вскрышных работ

Таблица 1. Типы экскаваторов, эксплуатируемых при проведении вскрышных работ

Тип экскаватора	Назначение
1. С прямой лопатой	Предназначен для выемки пород выше уровня площадки, на котором стоит экскаватор. Направление движения ковша «от себя». Нижняя часть ковша открывается
2. С обратной лопатой	Предназначен для выемки пород ниже площадки, на которой стоит экскаватор. Движение ковша «на себя»
3. Драглайн	Оснащен очень подвижным рабочим оборудованием, что позволяет охватить большой радиус обрабатываемого участка
4. Грейфер	Оснащен двухлопастным ковшом. Используется для выемки в более глубоких котлованах. (6–30 м)
5. Роторный	Высокопроизводительный экскаватор, оснащенный большим количеством ковшей. Ротор используется для разрушения и выемки вскрышных пород

Предварительно проведенный анализ на некоторых предприятиях Кузбасса показал, что экскаваторный парк, включает в себя, различные марки экскаваторов, с разными объемами ковшей. В основном используется обратный тип лопаты. Способы борьбы с налипанием на данных предприятиях, не отличаются разнообразием. Для шагающих экскаваторов марки ЭШ используется подогрев ковша открытым огнем (40–50 мин), для экскаваторов карьерных гусеничных (ЭЖГ) используется подогрев ковша открытым способом, а также пропусканием через ковш крупных кусков породы, для гидравлических экскаваторов – пропускание через ковш крупных кусков породы, а также очистка вертикальной металлической трубой с фиксированным основанием (металлический ёж) в течение 20–35 минут. Механические и тепловые способы борьбы с налипанием негативно сказываются на рабочем оборудовании экскаваторов, на поверхностях ковшей происходит повышенный износ, из-за чего возникает необходимость периодически производить восстановление изношенных участков.

Основным факторами влияющим на налипание является влажность грунта и его состав. Так при проведенных лабораторных исследованиях, было установлено, что процесс налипания начинается при влажности грунта равной примерно 12 %, свое максимальное значение липкость приобретает на 27–28 % влажности, а вот после преодоления этой отметки липкость начинает падать, из-за образования свободных частиц воды в грунте.

В то же время липкость у разного типа грунтов будет существенно различаться. Например, у песков и супесей липкость ничтожна по сравнению с липкостью глинистых грунтов. Для Западной Сибири и Кузбасса наиболее распространенными считаются пылеватые суглинки.

Наибольшая часть налипшей горной массы концентрируется в мертвых зонах ковша экскаватора, это места сопряжения различных конструктивных элементов ковша, в которых происходит малоинтенсивное продвижение грунта при его заполнении.

Также налипание происходит и с внешней стороны. Задняя стенка ковша, места соединений элементов, боковые части подвергаются сильному налипанию, из-за чего увеличивается масса ковша (рис. 2).



Рис. 2. Гидравлический экскаватор ЭО-5126 во время эксплуатации

По своей сути копание (черпание) – это достаточно сложный процесс. В основном процесс копания (черпания) рассматривают в упрощенном виде, где рассматривают движение рабочего органа в грунте. Передняя кромка рабочего органа внедряется в грунт, под ее воздействием грунт начинает уплотняться и в нем возникают напряжения, увеличивающиеся по мере движения рабочего органа. Когда напряжения достигают своих максимальных величин, и начинают превосходить сопротивление разрушению, грунт сдвигается по плоскости, в которой эти напряжения будут больше всего. Данный процесс будет повторяться многократно, по мере воздействия рабочего органа на последующие элементы грунта. Отделяющиеся от грунта элементы образуют стружку, которая перемещается по поверхности рабочего органа экскаватора.

На рабочий орган экскаватора, во время копания (черпания), будет действовать сила сопротивления грунта копанию, которая рассматривается как сумма реакций грунта на рабочий орган [1]. Работы по определению сопротивления копанию грунта рабочими органами экскаваторов были проведены проф. Н. Г. Домбровским. Им предложена следующая формула для определения силы P_1 :

$$P_1 = P_p + P_T + P_{np} = K_p bh + P_2 \mu_1 + q k_n \varepsilon,$$

где P_p – сопротивление грунта резанию; P_T – сопротивление трения ковша о грунт; P_{np} – сопротивление перемещению призмы волочения и грунта в ковше; P_2 – составляющая силы сопротивления копанию, нормальная к траектории движения ковша; q – емкость ковша; k_n – коэффициент наполнения ковша; ε – коэффициент сопротивления перемещению грунта в ковше [2].

Величина силы P_1 и относительная величина трех ее составляющих зависят от крепости горной породы и конструкции ковша. С увеличением крепости горной породы аб-

солютная величина силы P_1 возрастает, в то время как составляющие силы увеличиваются незначительно, что и вызывает уменьшение их относительной величины. Более благоприятные условия работы ковша экскаватора прямая лопата (большой наклон траектории ковша к горизонту при его подъеме) способствуют значительному уменьшению величины силы P_1 (рис. 3).

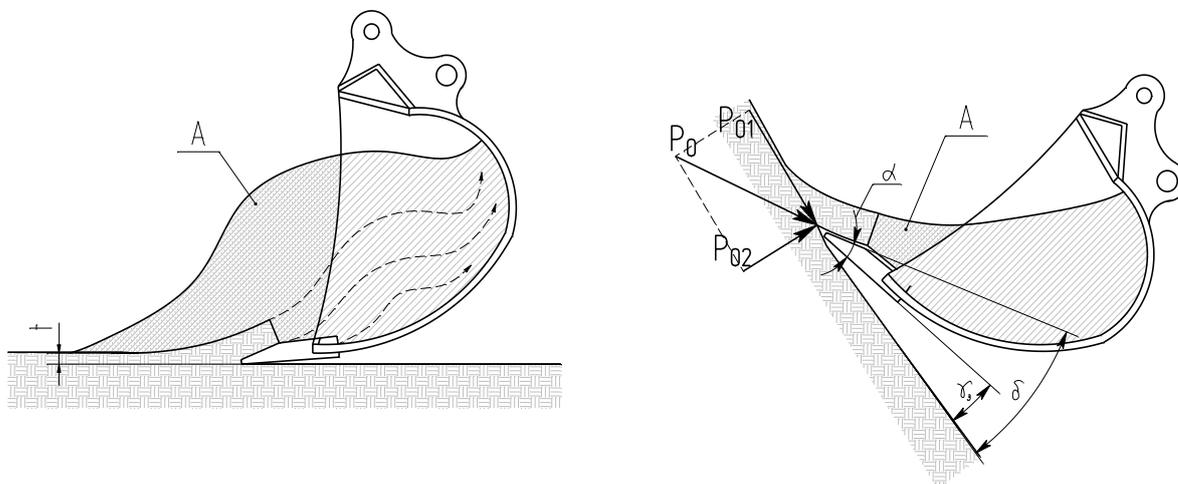


Рис. 3. Призма волочения (А) при траектории ковша: а – горизонтальной; б – наклонной

Существующая методика по определению геометрических параметров проведения экскавации, основанная на экспериментальных натуральных испытаниях Н. Г. Домбровского и Ю. А. Ветрова, является затратной и трудоемкой. Эти недостатки могут быть устранены, если будет создана новая методика, основанная на современных методах моделирования как самих конструктивных элементов с помощью ЭВМ, так и способов расчета их напряженно-деформированного состояния и действующих сил при ведении работ [3].

При моделировании процесса копания (черпания) нужно рассматривать взаимодействие грунта с рабочим органом детально, для построения наиболее адекватной модели. В настоящее время многие пакеты программ для твердотельного моделирования позволяют смоделировать процесс работы экскаватора. Это такие программы как Matlab Simulink, Ansys Mechanical и т. п. Для моделирования процессов взаимодействия рабочего органа с грунтом, наиболее подходящей является программа Rocky Dem, где можно разработать непосредственно поведение рабочего оборудования и грунта в смоделированных условиях приближенных к реальным (рис. 3).

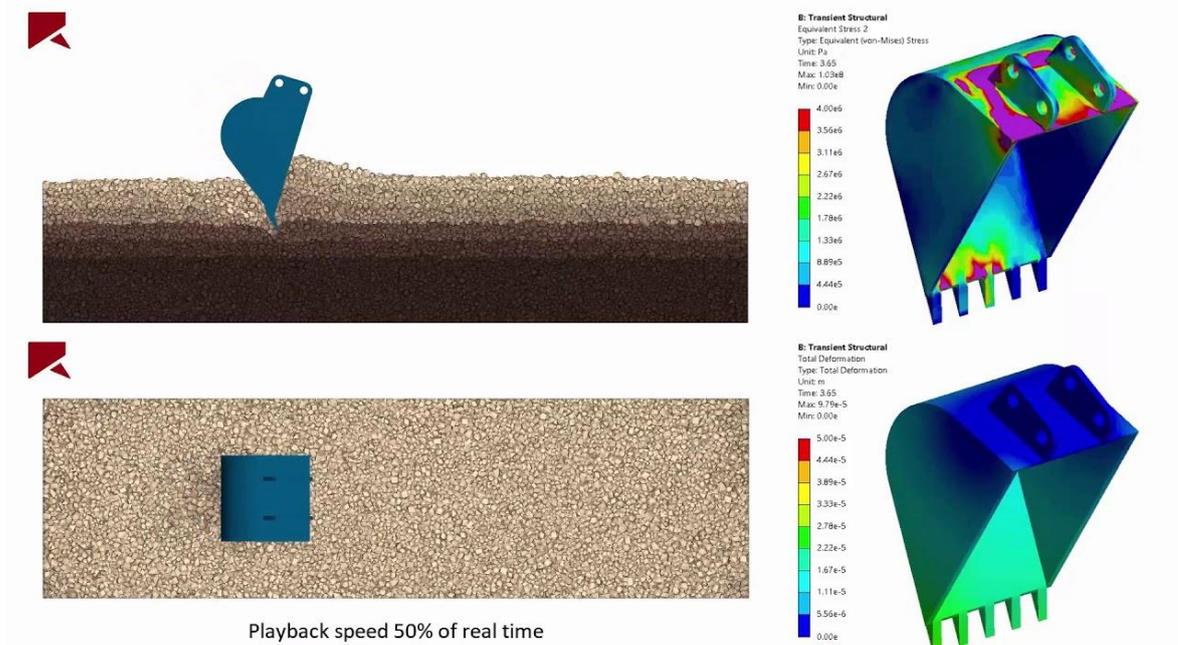


Рис. 3. Взаимодействие рабочего оборудования экскаваторов с грунтом

Рассмотрев несколько специализированных пакетов программ по автоматизированному проектированию, наилучшим выбором стало использование нескольких программ и в будущем интеграция этих программ позволит рассчитать поведение грунта в самых различных условиях. Расчет рабочего оборудования экскаватора и создание твердотельной модели, удобнее всего проводить в Matlab Simulink (рис. 4).



Рис. 4. Твердотельная модель рабочего оборудования экскаватора, созданная в среде Matlab Simulink

Для построения модели используются параметры грунта, описанные в ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация». Основные показатели свойств грунтов:

Коэффициент водонасыщения

- Природная влажность
- Плотность частиц грунта
- Плотность воды.

Коэффициент пористости

- Плотность частиц грунта;
- Плотность сухого грунта.

Липкость (Прилипаемость)

Льдистость грунта за счет видимых ледяных включений

- Суммарная влажность мерзлого грунта;
- Влажность мерзлого грунта, расположенного между ледяными включениями;
- Плотность частиц грунта;
- Плотность льда.

Пористость грунта

Сложность построения моделей заключается в том, что поведение грунта будет сильно меняться в зависимости от основных свойств грунтов (упругих, вязких, пластичных). Реальные грунты имеют все эти свойства одновременно, и построение моделей будет осуществляться путем последовательного или параллельного соединения нескольких простейших элементов [4].

Модель строилась на основе следующих предположений:

- 1) грунт неводонасыщенный, дисперсный, обладает вязкоупругими свойствами;
- 2) воздействие на грунт – плавное, скорость внедрения в грунт равно рабочей скорости V ;
- 3) угол внедрения рабочего органа в грунт, является постоянным;
- 4) объем призмы волочения, рассчитывается в зависимости от ширины передней кромки и объема ковша.

ЛИТЕРАТУРА

1. Строительные машины. URL: <https://staff.tiame.uz/storage/users/487/books/X32sI2oTP48huE1rKeDxOoxkqYGPEfmRtU5mgsbG.pdf> (дата обращения: 24.02.2023).
2. Эффективность процесса резания обеспечивается при оптимальных углах резания и рациональной геометрии режущего инструмента. URL: https://studopedia.net/14_40387_effektivnost-protssesa-rezaniya-obespechiwaetsya-pri-optimalnih-uglah-rezaniya-i-ratsionalnoy-geometrii-rezhushchego-instrumenta.html (дата обращения: 24.02.2023).
3. Пудов Е. Ю. Определение рациональных параметров грунторазрушающих элементов ковшей гидравлических экскаваторов: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06. Кемерово: КузГТУ, 2012. 155 с.
4. Хохлов В. К., Кандидатов И. А. Исследование влияния свойств грунта на характеристики сейсмических сигналов // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2013. № 1(90). С. 23–37. EDN PYCDYV.
5. Пат. на полезную модель № 215016 U1 Российская Федерация, МПК E21C 39/00, G 01 N 19/00. Устройство для измерения прочности и липкости горных пород. № 2022126697: заявл. 14.10.2022; опубл. 24.11.2022 / Л. Е. Маметьев, Н. Т. Бедарев, Е. Ю. Пудов [и др.]; заявитель Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. EDN VTEQMV.

6. Силютин С. М., Хорешок А. А., Любимов О. В., Пудов Е. Ю. Конструктивно-технологические особенности адаптерных узлов ковшей гидравлических экскаваторов // Инновации – основа комплексного развития угольной отрасли в регионах России и странах СНГ: материалы II Международной научно-практической конференции (Прокопьевск, 17 апреля 2009 г.). Прокопьевск: Филиал КузГТУ им. Т. Ф. Горбачева в г. Прокопьевске, 2009. С. 277–279. EDN WWYMIВ.
7. Mamaeva M. Muagkih I., Semenova O. Analysis of ways to combat the sticking of rocks on the working equipment of mining machines // E3S Web of Conferences: VIth International Innovative Mining Symposium (Kemerovo, 19–21 окт. 2021 г.). Kemerovo: EDP Sciences, 2021. Vol. 315. <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/202131503002>. EDN FEGJBV.
8. Мамаева М. С., Комаров Д. С., Ерастов В. С. Подход к анализу факторов, влияющих на налипание и примерзание связных пород к рабочему оборудованию экскаваторов в условиях Кемеровской области // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2022: Сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции (Кемерово, 23–24 нояб. 2022 г.) / редколлегия: А. А. Хорешок (отв. редактор), А. И. Фомин [и др.]. Кемерово: КузГТУ им. Т. Ф. Горбачева, 2022. С. 409.1–409.7. EDN COSPKS.

КОМПЛЕКСЫ ОБОРУДОВАНИЯ, ПРОИЗВОДИМОГО В РОССИИ, ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С МАЛЫМИ ЗАПАСАМИ

САНДРИГАЙЛО И. Н., АРЕФЬЕВ С. А., КУЗНЕЦОВ А. М., ХУЗИНА А. Ф.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

Аннотация. В статье описаны горные и транспортные машины, использование которых целесообразно при разработке месторождений глины, песка, сырья для получения щебня. Приведены основные параметры небольших гидравлических экскаваторов, автосамосвалов и бульдозеров, производимых в России. Предложены комплексы горнотранспортного оборудования, позволяющие осуществлять эффективную разработку месторождений с малыми запасами.

Ключевые слова: месторождения с малыми запасами, комплексы оборудования, гидравлический экскаваторы, автосамосвалы, бульдозеры.

COMPLEXES OF EQUIPMENT MANUFACTURED IN RUSSIA, FOR THE DEVELOPMENT OF DEPOSITS WITH SMALL RESERVES

SANDRIGAILO I. N., AREFYEV S. A., KUZNETSOV A. M., KHUZINA A. F.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

Abstract. The article describes mining and transport machines, the use of which is advisable in the development of deposits of clay, sand, raw materials for the production of crushed stone. The main parameters of small hydraulic excavators, dump trucks and bulldozers produced in Russia are given. Complexes of mining and transport equipment are proposed that allow for the effective development of deposits with small reserves.

Keywords: deposits with small reserves, equipment complexes, hydraulic excavators, dump trucks, bulldozers.

В России сегодня действуют несколько тысяч горных предприятий, осуществляющих добычу глины, песка и сырья для производства щебня. Значительная часть парка оборудования на них представлена гидравлическими экскаваторами с вместимостью ковша от 1,8 до 3,2 м³, автосамосвалами грузоподъемностью от 19 до 25 т, бульдозерами с мощностью двигателя 250–450 л.с.

В 1970–1980-х годах на малых месторождениях использовалась в основном отечественная техника – гидравлические экскаваторы Воронежского экскаваторного завода ЭО-5123, ЭО-5124, ЭО-6122А, ЭО-6123, автосамосвалы Минского автозавода МАЗ-5516, и Камского автозавода КамАЗ-5511, бульдозеры Челябинского тракторного завода Т-130, ДЭТ-250 и Чебоксарского завода промышленных тракторов Т-330 [1–9]. В настоящее время существенная доля оборудования, используемого на этих месторождениях представлена машинами, изготовленными иностранными производителями. Это гидравлические экскаваторы фирм Komatsu, Hitachi, Caterpillar, Volvo, Hyundai, Doosan, автосамосвалы Scania, Volvo, MAN, Shacman, Howo, бульдозеры Komatsu, и другие. Широкому распространению импортной техники в значительной степени способствовали развитая ди-

лерская сеть, а также то, что в России действовали заводы спецтехники ряда фирм - Komatsu, Hitachi, Caterpillar, и Volvo.

Согласно оценкам, емкость рынка экскаваторов различных видов и типов в России в ближайшие годы достигнет 10 тысяч машин. И отечественные заводы вполне могут обеспечить горные предприятия, разрабатывающие месторождений с малыми запасами, необходимым оборудованием.

В 2021 г. в нашей стране было собрано 246 экскаваторов (без учета карьерных). Крупнейшими российскими производителями экскаваторов с небольшой вместимостью ковша, использование которых возможно на малых карьерах, являются находящийся в городе Иваново завод Машиностроительной группы "КРАНЭКС" и работающее в Твери ЗАО «Тверской экскаватор» (осуществляющий производство экскаваторов под маркой UMG).

Гусеничные гидравлические экскаваторы «КРАНЭКС» модели EK 450FS с вместимостью ковша 2,6 м³, рабочим оборудованием «прямая лопата» и весом 48 т уже много лет работают на карьерах России и стран СНГ. Эти машины оснащены известным своей надежностью отечественным дизельным двигателем ЯМЗ-238Б, имеющим мощность 300 л.с. и способным работать на недорогих видах топлива. В отдаленных регионах, где часто и находятся новые месторождения полезных ископаемых, топливо иногда может иметь низкое качество. Использование такого топлива приводит к поломкам экскаваторов иностранных производителей. Как показывает опыт, в этих условиях EK 450FS продолжает успешно работать. На карьерах, находящихся в регионах с холодным климатом, серьезной проблемой является возможность завести машину в морозную погоду. С целью обеспечения качественного подогрева холодного двигателя и его запуска при низкой температуре на дизель экскаватора устанавливается предпусковой подогреватель, Современная панель управления, позволяет осуществлять предпусковой анализ систем машины и контроль основных показателей. Неприхотливость к условиям запуска и нетребовательность к дизельному топливу способствуют популярности экскаваторов EK 450FS у горняков, разрабатывающих месторождения с малыми запасами.

В третьем квартале 2022 г. Машиностроительная группа КРАНЭКС представила новые модели экскаваторов перспективной 10-ой серии. В их числе наибольший интерес для горных предприятий, представляют экскаваторы модели EK 500-10 с вместимостью ковша 2,6 м³ и массой 50,5 т, а также EK 500SE -10 с вместимостью ковша 3,2 м³ и массой 51 т. На этих экскаваторах установлена новая гидравлическая система, которая обеспечивает рациональное потребление мощности, плавность, точность и скорость при работе в зависимости от условий эксплуатации и характера выполняемых операций. Имеется возможность выбора рабочих режимов для приведения частоты вращения двигателя и насоса, а также давления в гидросистеме в соответствии с характером выполняемой работы. Наличие данной системы обеспечивает гибкость машины в эксплуатации. Просторная кабина экскаваторов имеет защиту от опрокидывания, а также все необходимое для максимально эффективной работы оператора: удобно расположенные органы управления с низким усилием на рычагах и педалях; кресло с эргономичным профилем и широким диапазоном регулировок; климатическую систему, магнитолу с USB, камеру заднего вида, большие окна, обеспечивающие максимально хороший обзор рабочей зоны и гидроопоры кабины, уменьшающие вибрацию. Многофункциональный пульт управления, позволяет получить информацию о возникновении неисправностей и превышении предельно допустимых эксплуатационных параметров. Он обеспечивает возможность гибкого выбора режимов работы и управления. Вся информация выводится на большой интуитивно понятный монитор. Джойстики имеют короткий ход, оператор может подстроить их под себя как по чувствительности, так и по функционалу. Металлоконструкции экскаваторов, изготавливаются на самом предприятии. Современные технологии автоматизированного проектирования, качественные материалы, оборудование известных мировых производителей, жесткий контроль качества на всех этапах технологического процесса гарантируют

высокое качество и надежность металлоконструкций экскаваторов. Это подтверждается тем, что ивановский завод много лет изготавливал металлоконструкции для таких известных фирм как Komatsu, Hitachi и Caterpillar с которыми он сотрудничал.

Используется прогрессивная технология сварки и современное оборудование, обеспечивающее высокие прочностные характеристики сварных швов. Стыковая сварка трубопроводов производится на программируемой установке Esab, что обеспечивает их повышенную надежность и долговечность. Ультразвуковой контроль сварных швов исключает наличие внутренних дефектов. Производительность новых экскаваторов повышена на 30 % по сравнению с предыдущими моделями. Предусмотрено три рабочих режима в зависимости от условий работы и нагрузки. Электроника и современные мощные двигатели позволяют создавать высокое гидравлическое усилие и на 20 % меньше расходовать топлива относительно предыдущих моделей. Все машины обладают хорошими рабочими характеристиками как по геометрическим параметрам копания, так и по развиваемым усилиям. Важным преимуществом является снижение расходов на техническое обслуживание (в среднем на 15 % по сравнению с предыдущей серией). Увеличены интервалы замены масляных и воздушных фильтров. Три боковые дверцы обеспечивают доступ ко всем точкам выполнения регламентных работ при плановом осмотре и техобслуживании. Все детали двигателя, требующие ТО, размещены за одной дверцей под капотом. Упрощено обслуживание электронных элементов – все они находятся в одном электронном блоке в кабине. Благодаря перечисленным выше решениям удалось существенно снизить трудоемкость и повысить скорость выполнения технического обслуживания новых экскаваторов. В ближайшие годы завод планирует выпускать до 200 экскаваторов в год.

У ЗАО «Тверской экскаватор» в линейку гусеничных экскаваторов входят 10 моделей, массой от 15 до 40 т, с вместимостью ковша от 0,8 до 2,2 м³. Для работы на малых карьерах в наибольшей степени подходит современный экскаватор UMG E400C с вместимостью ковша от 1,8 до 2,2 м³ и весом до 42 т. Машина комплектуется двигателем «КАММИНЗ КАМА», мощностью 361 л.с. Для облегчения пуска в морозную погоду установлен предпусковой подогреватель. Гидропривод обеспечивает совмещение 4-х движений в рабочем цикле, высокую точность выполнения операций, минимальные потери мощности. Установлена система автоматической централизованной смазки. Кабина имеет большую площадь остекления с обеспечением полной обзорности рабочей зоны, усовершенствованную систему воздухопроводов обдува стёкол, а также отопления и кондиционирования салона. В базовой комплектации присутствует климатическая установка и эргономичное сиденье оператора с подогревом. Применены новые жидкостные демпфирующие опоры подвески кабины, что обеспечивает снижение уровня вибрации. Управление экскаваторами осуществляется с помощью удобно расположенных джойстиков.

Основные рабочие параметры и показатели гидравлических экскаваторов, производимых на заводах КРАНЭКС и ТВЭКС, и в наибольшей степени соответствующих условиям месторождений с малыми запасами, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Гидравлические экскаваторы с вместимостью ковша 1,8–3,2 м³

Показатели	КРАНЭКС			ТВЭКС
	ЕК 450FS	ЕК 500-10	ЕК 500SE-10	Е400С
Вместимость ковша, м ³	2,6	2,6	3,2	1,8–2,2
Максимальный радиус копания, м	8,66	11,86	11,86	10,76
Максимальная высота копания, м	9,94	10,95	10,98	11,22
Максимальная глубина копания, м	4,36	7,49	7,25	7,3
Мощность двигателя, л. с.	300	408	408	361
Масса, т	48	50,5	51,0	40,1

При разработке месторождений с малыми запасами сегодня широко используются автосамосвалы отечественных производителей.

Так, на многих горных предприятиях хорошо зарекомендовал себя автосамосвал КАМАЗ-6520-53, грузоподъемностью 20 т, относящийся к третьему поколению (К3) грузовиков Камского автозавода [10, 11]. Машина оснащена современным двигателем модели 740.735-400, мощностью 400 л.с., который ведёт историю от хорошо известного дизеля модели 740. Но он серьезно модернизирован и доработан. Модернизированы также системы смазки и охлаждения. Коробка передач, рассчитанная на максимальный крутящий момент 1820 Нм, производится совместным предприятием «ZF-КАМА» в Набережных Челнах. Это 16-ступенчатая коробка передач для универсального использования. Колесная формула 6 х 4. Балка передней подвески рассчитана на нагрузку 7500 кг. Грузоподъемность задней тележки – 25 600 кг. Спереди и сзади предусмотрены стабилизаторы поперечной устойчивости. Рама самосвала усилена по принципу «лонжерон в лонжероне». Силовой каркас кабины остался прежним, но машина имеет новый пластиковый бампер, новые крылья и современные блок-фары. Три стеклоочистителя покрывают всю зону очистки ветрового стекла по ширине. Модернизированный автосамосвал КАМАЗ-6520-53, несмотря на то, что он относится к поколению К3, продолжает пользоваться устойчивым спросом. Этому способствует и то, что данная удачная машина отличается хорошим соотношением между ценой и качеством.

Новой моделью автосамосвала, использование которой также возможно при разработке месторождений с малыми запасами, является Урал С35510 грузоподъемностью 21 т. Машина оснащена отечественным дизелем ЯМЗ-653, мощностью 420 л.с. Максимальный крутящий момент – 1985 Нм при 1100–1300 оборотах. Турбонаддув с охлаждением наддувочного воздуха в теплообменнике типа «воздух-воздух». Ресурс до капитального ремонта – миллион километров. Через диафрагменное однодисковое сцепление к мотору присоединена китайская механическая коробка передач Fast Gear FG 12JS 220TA. У машины китайские мосты HanDe. Задние мосты грузоподъемностью по 13 т имеют межосевую и межколесную блокировки. Передний мост, имеет грузоподъемность 9 т. Полная масса самосвала 35 т. Рестайлинговая кабина хорошо известна, так как с изменениями эту кабину выпускают для Iveco TurboTech с начала 1980-х гг. У рулевой колонки есть регулировки и по высоте, и по вылету. Возможно подогнать рабочее место под себя. У машины мультируль. Кнопки на руле управляют аудиосистемой. Есть электроподогрев зеркал, электроподъемники, и электронный блок управления климатом. Грузовик отличается хорошей маневренностью. Межсервисный интервал до 20 тысяч километров. Основные показатели автосамосвалов Камского и Уральского автозаводов, которые могут использоваться на карьерах малой мощности, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Автосамосвалы грузоподъемностью 19–25,5 т

Показатели	КАМАЗ-6520-53	КАМАЗ-65201-53	КАМАЗ-6522-53	УРАЛ-С35510
Грузоподъемность, кг	20000	25500	19075	21000
Полная масса, кг	33100	41000	33100	35000
Мощность двигателя, л.с.	400	400	400	420
Объем платформы, м ³	16	20	16	20
Колесная формула	6 х 4	8 х 4	6 х 6	6 х 4
Внешний габаритный радиус поворота, м	9,3	11,5	12,5	–
Максимальная скорость, км/ч	95	90	90	90

В комплекс оборудования, необходимого для разработки месторождений с малыми запасами, наряду с экскаваторами и автосамосвалами, входят бульдозеры, которые могут применяться как на отвалах, так и для выполнения различных работ в карьере.

Лидирующие позиции в производстве бульдозеров, использование которых возможно при открытой разработке месторождений, занимает Чебоксарский завод «Промтрактор».

За период 2016 по 2021 г. это предприятие увеличило годовой выпуск гусеничных бульдозеров с 43 до 358 шт. Рыночная доля бульдозеров «ЧЕТРА» в сегменте отечественных бульдозеров выросла с 41 % в 2021 г. до 56 % в январе–июне 2022 г. В 2023 г. рост объемов производства может составить 20–30 %. Планируется выйти в ближайшее время на выпуск до 100 тракторов в месяц.

«Промтрактор» самостоятельно изготавливает почти все металлоконструкции и трансмиссии. Практически всю номенклатуру литья обеспечивает предприятие-партнер – чебоксарский завод «Промлит» (бывший литейный цех тракторного завода). Ходовую систему изготавливает Чебоксарский агрегатный завод. Все эти предприятия входят в состав единого Концерна. Двигатели Cummins в основном заменили на новые модели ярославского «Автодизеля».

Рекомендуемые для использования при разработке месторождений с малыми запасами модели бульдозеров ЧЕТРА приведены в табл. 3.

Таблица 3. Бульдозеры ЧЕТРА

Показатели	ЧЕТРА			
	T11.02Я	T15.02Я	T20.02Я	T25.02Я
Тяговый класс	11	15	20	25
Эксплуатационная масса, т	22,1	28,3	35,0	49,6
Мощность двигателя, л. с.				
– номинальная	210	250	330	441
– эксплуатационная	185	235	310	405
Емкость отвала, м ³	5,6	6,8	10,0	11,9
Длина отвала, мм	3331	3794	3976	4270
Высота отвала, мм	1577	1544	1875	1910
Максимальное заглубление рыхлителя, мм	640	700	1030	1292

Перечисленные выше гидравлические экскаваторы, автосамосвалы и бульдозеры могут быть объединены в комплексы [12], которые целесообразно использовать на карьерах небольшой мощности (табл. 4).

Таблица 4. Комплексы оборудования, производимого в России, для разработки месторождений с малыми запасами

Производительность карьера по горной массе, тыс. т	Экскаватор	Автосамосвал	Бульдозер
500–800	E400C	КАМАЗ-6520-53 КАМАЗ-6522-53	T11.02Я
800–1000	E400C ЕК 450FS	КАМАЗ-6520-53 КАМАЗ-6522-53	T11.02Я
1000–1150	ЕК 450FS ЕК 500-10	УРАЛ-С35510 КАМАЗ-65201-53	T15.02Я T20.02Я
1150–1500	ЕК 450FS ЕК 500SE-10	УРАЛ-С35510 КАМАЗ-65201-53	T20.02Я T25.02Я

На основании анализа типовых рядов горного оборудования, производимого отечественными заводами и опыта разработки месторождений с малыми запасами можно сделать следующие выводы:

1. Имея более низкую цену по сравнению с импортными машинами и часто не уступая им в эффективности, комплексы оборудования, производимого в России, должны в ближайшие годы широко применяться при разработке месторождений с малыми запасами.

2. Для повышения эффективности выемочно-погрузочных работ необходимо:

– создание новых более крупных моделей гидравлических экскаваторов, с вместимостью ковша 4–5 м³ и весом 80–90 т, для работы на карьерах, имеющих производительность более 1500 тыс. т в год;

– обеспечение возможности быстрой замены ковша экскаватора на гидромолот.

3. Для повышения эффективности эксплуатации автосамосвалов Камского автозавода на карьерах необходимо учесть следующее:

– кузов самосвала должен иметь специальный козырёк над кабиной, защищающий водителя, агрегаты и узлы самосвала от падения скальной породы;

– днище и стенки кузова должны изготавливаться из специальной стали увеличенной толщины, способной выдерживать повышенную нагрузку, при перевозке крупных кусков скальных пород;

– для исключения примерзания влажной породы к днищу кузова в холодное время года, необходимо предусмотреть обогрев его выхлопными газами двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляков Ю. И., Левинзон А. Л., Галимуллин В. А. Земляные работы. М.: Стройиздат, 1990. 271 с.
2. Раннев А. В. Одноковшовые гидравлические экскаваторы ЭО-5123 и ЭО-6122А. М.: Высш. школа, 1988. 143 с.
3. Слесарев Б. В. Опыт применения и сервисного обслуживания гидравлических экскаваторов в СНГ // Вторая межд. научно-практ. конф. по проблемам горнотранспортного оборудования: тез. докладов (22–25 мая 2000 г., ОАО «Ижорские Заводы»), 2000. С. 31–33.
4. Донской В. М., Корнеев В. П., Маркин В. А., Филатов А. И. Справочник молодого машиниста экскаватора. М.: Высш. школа, 1988. 320 с.
5. Стрельников А. В., Тюленев М. А. Применение обратных гидравлических лопат при разработке сложноструктурных угольных месторождений Кузбасса // Горное оборудование и электромеханика. 2011. № 1. С. 30–34.
6. Стрельников А. В., Тюленев М. А. Опыт применения обратных гидравлических лопат на разрезах ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» // Вестник КузГТУ. 2011. № 2. С. 8–12.
7. Стрельников А. В. Исследование экскавационного цикла обратной гидравлической лопаты при выемочно-погрузочных работах // Новые технологии в угольной отрасли и экономике Кузбасса: материалы II региональной научно-практической конференции. Белово, 2010. С. 84–92.
8. Томаков П. И., Ненашев А. С., Рыбаков Б. Н. Гидравлические обратные лопаты для разработки сложноструктурных месторождений Кузбасса: обзор / ЦНИЭИуголь. М., 1984. 57 с.
9. Репин Н. Я., Репин Л. Н. Выемочно-погрузочные работы: учеб. пособие. 2-е изд. М.: Изд-во «Горная книга», 2012. 267 с.
10. Активная жизнь в формате К3 // КАМАЗ. Корпоративный журнал ПАО «КАМАЗ». 2021. № 2. С. 38–43.
11. Технологическая революция на «КАМАЗЕ» // КАМАЗ. Корпоративный журнал ПАО «КАМАЗ». 2021. № 4. С. 4–12.
12. Ржевский В. В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. М.: Недра, 1975. 574 с.

КРАТКИЙ ОБЗОР ВЛИЯНИЯ ТРЕЩИНОВАТОСТИ НА КАЧЕСТВО ДРОБЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД И ЗАКОНТУРНЫЙ МАССИВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ КАРЬЕРОВ

ВАСИЛЬЕВА Л. А., ЖАРИКОВ С. Н., КУТУЕВ В. А.

Институт горного дела УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы структурного строения массива горных пород, влияющего на заданное качество буровзрывной подготовки горной массы и выход негабарита. Наличие уточненных данных о трещиноватости массива позволяет реализовать ряд перспективных технических решений и обозначить некоторые перспективные научные направления поиска.

Ключевые слова: качество дробления горной породы, структурное строение массива горных пород, трещиноватость, буровзрывные работы, сохранность законтурного массива.

OVERVIEW OF THE EFFECT OF FRACTURING ON THE QUALITY OF ROCK CRUSHING AND THE STRUCTURAL ARRAY IN THE PRODUCTION OF BLASTING OPERATIONS IN QUARRIES

VASIL'EVA L. A., ZHARIKOV S. N., KUTUEV V. A.

Institute of mining of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg

Abstract. The article deals with the structural structure of the rock mass, which affects the specified quality of drilling and blasting preparation of rock mass and the output of oversized. The availability of updated data on the fracturing of the array allows us to implement a number of promising technical solutions and identify some promising scientific areas of search.

Keywords: quality of rock crushing, structure of the rock mass, fracturing, drilling and blasting, out-contour rock mass.

Введение

Буровзрывные работы на сегодняшний день являются самым экономичным способом разрушения значительных объемов горных пород [1].

Более широкое народнохозяйственное использование энергии взрыва возможно на основе успешного решения двух наиболее сложных научно-технических проблем:

- обеспечение заданной степени дробления горных пород взрывом;
- защиты инженерных сооружений от сейсмического действия взрыва [2].

Достижение необходимого качества дробления обеспечивается разрешением определенного перечня задач. Для дробления трудновзрывааемых пород, острыми вопросами, связанными с технологическими требованиями обеспечения заданной степени дробления горных пород и максимальной сохранности законтурного массива, особенно вблизи конечных контуров карьеров, являются:

- повышенный выход негабаритных фракций во взорванной горной массе;
- неравномерность дробления взорванной горной массы;
- нарушение целостности законтурного массива [3–5];
- разлет осколков (при взрывах вблизи охраняемых объектов).

Рассмотрение взрыва для поиска наилучших решений предполагает установление закономерностей деформирования массива горных пород в зависимости от интенсивности динамического воздействия [3, 4, 6–8].

Состояние изученности вопроса

В направлении изучения трещиноватости массива горных пород для целей БВР публикаций не так уж и много. Однако в [3, 6] отмечены некоторые закономерности, установленные при изучении связи трещиноватости и дробления вязких трудно взрывае- мых пород, предложены решения, позволяющие использовать информацию, полученную при дополнительных инженерно-геологических исследованиях, о трещиноватости массива для рациональных приемов ведения взрывных работ. В [9] отмечена важность использо- вания данных трещиноватости для формирования зарядов и выбора схем инициирования в массиве горных пород с переменной слоистостью.

Процесс разрушения горных пород взрывом – это результат развития естественных статистически распределенных в массиве микро-макротрещин, так как обычно реализуе- мая при взрывах штатных химических ВВ энергия на два-три порядка ниже той энергии, которая необходима для создания в среде новых трещин с нарушением сил молекулярного сцепления [2].

Трещиноватость является определяющей структурно-механической особенностью породного массива [10–13]. Естественная трещиноватость – трещиноватость, связанная с особенностями образования (генезисом) горных пород и последующих изменений, вы- званных природными факторами. Естественные трещины образуются в процессах петро- генезиса, тектогенезиса и в результате деятельности экзогенных процессов, не зависящих от воли человека. Согласно [14] знание генезиса трещин оказывается весьма полезным при решении прикладных задач, в частности при изучении распределения трещин в среде. Сведения о происхождении трещин позволяют при этом высказывать те или иные гипоте- зы о закономерностях их распределения. В [15] С. Н. Чернышев совместно с Г. Н. Авдее- вым считали, что в генетических классификациях представлен огромный опыт изучения трещиноватости и знание генезиса необходимо для прогноза трещиноватости при регио- нальных исследованиях на основе изучения геолого-структурных условий месторождения, а также для экстраполяции и интерполяции наблюдений трещиноватости между разведоч- ными выработками при инженерно-геологических изысканиях и геологической разведке. Согласно [6], при взрыве на 65–70 % массив разрушается по имеющимся трещинам и только на 25–30 % – по вновь образованным трещинам.

Кроме интенсивности растрескивания массива на качество взорванной горной мас- сы существенное влияние оказывает направление системы трещин [3], что предвари- тельно подтверждают результаты проведенных экспериментальных взрывов на моделях из оргстекла, представленные в [3].

Наиболее развито изучение трещиноватости для составления планов трещиновато- сти горного массива [16].

Согласно [6, 17, 18], для изучения структурного строения массивов горных пород проводятся инструментальные замеры параметров залегания трещин и систем трещин, а также укрупненное визуальное обследование обнажений массива на различных участках карьера.

По результатам анализа полученной инженерно-геологической информации в ра- бочем пространстве выделяется несколько блоков с относительно однородным структур- но-тектоническим строением и сходными параметрами залегания основных трещин. Устанавливаются азимут и угол падения основных систем трещин в блоках. С учетом данных блочной модели карьера, детализируется структурное строение массива по участ- кам, отличающимся наибольшим выходом негабаритных фракций во взорванной горной массе.

Следующим этапом является исследование влияния трещиноватости на качество дробления горных пород. Согласно [19] размер отдельности в массиве во многом опреде-

ляет удельный расход ВВ. Поэтому сведения о трещиноватости массива являются важной информацией для определения рациональных параметров БВР.

Анализ влияния трещиноватости на качество дробления горной породы и сохранность законтурного массива

В работах [3, 6] предложены пути для достижения заданной степени дробления горных пород взрывом в зависимости от структурного строения массива и направления простирания основных систем трещин в массиве, которые по мнению авторов не приведут к увеличению затрат, либо последние будут незначительные:

- оптимизация интервалов времени замедления и порядка взрывания скважинных зарядов во взрывном блоке;
- оптимизация сетки скважин;
- уменьшение параметров взрывного блока;
- обеспечение направления фронта отбойки, при котором трещины основной системы создают отраженную волну напряжений.

Также в [6] предложены пути, которые требуют увеличения затрат на БВР:

- повышение удельного расхода ВВ за счет сгущения сетки скважин;
- уменьшение диаметра взрывных скважин;
- оконтуривание взрывного блока рядом скважин малого диаметра.

Все указанные пути решения проблемы могут иметь место при определенных условиях и ограничениях. Оптимизация интервалов времени замедления может быть достаточно эффективной при использовании НСИ и электронных детонаторов. При использовании детонирующего шнура даже с пиротехническими реле в роли замедлителей оптимизация интервалов замедления и порядка инициирования зарядов в большинстве вариантов неприемлема, т.к. может произойти подбой детонирующего шнура в момент взрыва, что приведет к отказам. Интервалы времени замедления при увеличении диаметра скважин и возрастании трещиноватости целесообразно увеличивать в большей мере в первом ряду и в меньшей – между рядами взрываемого блока.

Оптимизация сетки скважин (подразумевается не только сужение-расширение квадратной сетки, а шахматная, прямоугольная и т.д.) связано с направлениями инициирования зарядов и зависит от имеющихся в наличии средств инициирования (СИ). Направлению простирания основной системы трещин по длине взрывного блока должен соответствовать угол наклона большой оси зоны дробления каждого из зарядов к линии откоса уступа.

Уменьшение параметров взрывного блока ведет к повышению точности срабатывания сети инициирования зарядов. Что предупреждает случайное срабатывание большей массы в ступени замедления, в виду погрешностей срабатывания замедлителей в скважинах и на поверхности. Целесообразно уменьшать параметры блока до границ с относительно однородным структурно-тектоническим строением.

Обеспечение направления фронта отбойки для создания отраженной волны напряжений, пожалуй, наиболее простой и эффективный способ улучшения качества дробления. Сдавливание массива для сужения трещины ведет к подсеканию последней в крест и уменьшению диссипации энергии взрыва в породных нарушениях. Следовательно, повышается дробящее воздействие. Подробно это рассмотрено в [20].

Сгущение сетки скважин ведет к увеличению объемов работ по бурению и увеличению затрат на взрывчатые материалы. Не всегда такой путь является целесообразным. В этом случае сравниваются затраты между вариантами и выбирается как правило менее затратный. Для того, чтобы это было реализовано затраты на разделку негабарита должны превышать указанные издержки. Следует также отметить, что такой подход может иметь место лишь в крупноблочном мало трещиноватом массиве, а в сильно трещиноватом это представляется неэффективным, так как от большего количества ВВ будет лишь повышенная диссипация энергии по трещинам.

Уменьшение диаметра скважин в некоторых случаях может быть достаточно эффективным. Обратить внимание следует на свойства применяемых ВВ. Диаметр влияет на протекание детонации, а, соответственно, на давление, возникающее при взрыве. Представляется целесообразным рассматривать этот вопрос вместе с вопросом подбора рационального боевика для того или иного применяемого ВВ с целью получения оптимального инициирующего импульса.

Оконтуривание взрывного блока может также иметь положительный эффект. Потому что, согласно [21], наличие поверхности отражения волн напряжений дает прирост энергии на дробление. В этом случае важным вопросом будет то, насколько взрыв оконтуривающего ряда должен опережать взрыв основного блока. Также встанет вопрос о возможности, либо невозможности применения вариантов из-за наличия тех или иных СИ.

Выводы

Структурное строение массива горных пород определяет подходы к его разрушению буровзрывным способом. Наличие уточненных данных о трещиноватости массива позволяет реализовать ряд перспективных технических решений и обозначить некоторые перспективные научные направления поиска.

Разрушение горных пород взрывом пока не имеет строгого математического описания и во многом это связано с непредсказуемой структурой массива. Поэтому изучение закономерностей распространения трещин для совершенствования двух процессов добычи является важной и перспективной задачей, имеющей высокую значимость.

Обзор научно-технической литературы показал, что вопрос обследования трещиноватости массива для целей БВР освещен недостаточно. В имеющихся публикациях нет строгой детальности, что затрудняет восприятие и оценку полученных результатов и выводов. С другой стороны, недостаток информации может указывать на актуальность и перспективность исследований в этом направлении. Тем более, если ясно понимать способы применения этой информации для проектирования технологических взрывов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жариков С. Н., Кутуев В. А. Особенности распространения волновых процессов в массиве горных пород при производстве взрывных работ на карьерах // Горное эхо. 2022. № 3 (88). С. 61–68. <https://doi.org/10.7242/echo.2022.3.10>
2. Мосинец В. Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. М.: Недра, 1976. 271 с.
3. Яковлев А. В., Шимкив Е. С., Переход Т. М. Основные направления и результаты исследований дробления трудно взрывааемых пород // Проблемы недропользования. 2019. № 3. С. 137–144. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2019.03.137>
4. Zharikov S., Kutuev V. About Order of Comprehensive Solving the Seismic and Pre-Splitting Issues for Drill-and-Blasting Open-Pits. Trigger Effects in Geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences, Springer, Cham, 2019. P. 437–445. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31970-0_46
5. Зотеев В. Г., Макаров А. Б., Эпштейн И. В. Оценка возможности использования «Руководства по проектированию бортов карьеров» при проектировании открытой разработки рудных месторождений в условиях современной России // Золото и технологии. 2018. № 1. С. 52–57.
6. Яковлев А. В., Шимкив Е. С. Исследование влияния основных систем трещин в массиве Северного карьера ОАО «ЕВРАЗ КГОК» на качество дробления взорванной горной массы // Проблемы недропользования. 2015. № 3. С. 15–19. <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2015.03.019>
7. Zharikov S. N., Kutuev V. A. Building a Nomogram to Determine Drilling @ Blasting Parameters in the Marginal Quarry Zone. IOP Conferences Series: Materials Science and Engineering, 2021. Vol. 1079. 062081. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/6/062081>
8. Адушкин В. В., Спивак А. А. Особенности деформирования блочной среды при взрыве // ФТПРПИ. 1990. № 2. С. 46–52.
9. Реготунов А. С., Жариков С. Н., Сухов Р. И., Кутуев В. А. Оценка современного состояния буровзрывных работ и необходимость осуществления переходных процессов на некоторых крупных горных предприятиях Урала и Сибири // Проблемы недропользования. 2021. № 2. С. 52–62. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2021.02.052>

10. Мамбетов Ш. А. Геомеханика: учебник: в 2-х т. Т. 1. Основы геомеханики. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2013. 138 с.
11. Барон Л. И., Личели Г. П. Трещиноватость горных пород при взрывной отбойке. М.: Недра, 1966. 136 с.
12. Liu F. Modeling fracture propagation in a rock-water-air system with the assumed enhanced strain method. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 2022. Vol. 123. No. 11. P. 2429–2466. <https://doi.org/10.1002/nme.6945>
13. Qi C., Zhao F., Dyskin A. V., Xia C., Pasternak E. Crack interaction and fracturing of geomaterials with multiscale cracks // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2022. Vol. 153. 105084. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2022.105084>
14. Рац М. В., Чернышев С. Н. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. М.: Недра, 1970. 160 с.
15. Чернышев С. Н. Трещины горных пород. М.: Наука, 1983. 240 с.
16. Жариков С. Н., Зотеев О. В., Кутуев В. А. [и др.] Оценка влияния сейсмических колебаний на горный массив верхнего и Нижнего участков склона 1751 км перегона Биянка-Симская // *Проблемы недропользования*. 2018. № 2. С. 57–65. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2018.02.057>
17. Яковлев А. В., Панжин А. А., Рождественский В. Н., Пьянзин С. Р., Кочнев К. А. Оценка степени трещиноватости локальных скальных массивов, подлежащих взрывной отбойке // *Маркшейдерия и недропользование*. 2012. № 5. С. 22–29.
18. Рождественский В. Н., Панжин А. А., Пьянзин С. Р., Кочнев К. А. Исследование трещиноватости локальных массивов с помощью средств наземного лазерного сканирования // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2014. № 5. С. 75–79.
19. Корнилков С. В., Стенин Ю. В., Стариков А. Д. Расчет параметров буровзрывных работ при скважинной отбойке на карьерах: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГА, 1997. 112 с.
20. Бондаренко И. Ф., Жариков С. Н., Зырянов И. В., Шеменев В. Г. Буровзрывные работы на кимберлитовых карьерах Якутии. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2017. 172 с.
21. Адушкин В. В., Спивак А. А. Геомеханика крупномасштабных взрывов. М.: Недра, 1993. 319 с.

УМЕНЬШЕНИЕ ПЫЛЕНИЯ ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЯ ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВЫЕМОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ЧЕБАН А. Ю.

Хабаровский федеральный исследовательский центр
Дальневосточного отделения РАН, Хабаровск

Аннотация. Важной экологической проблемой, сопровождающей работу угольных разрезов, складских и перегрузочных терминалов, является загрязнение атмосферного воздуха угольной пылью, которая образуется из тонких фракций разрыхленного угля. В статье предлагается выемочный агрегат на базе одноковшового гидравлического экскаватора, дополнительно снабженный приемным бункером, дробилкой, аккумуляющей емкостью, сортировочным устройством, транспортером. Конструкция выемочного агрегата обеспечивает высокую производительность ведения работ за счет преобразования циклического процесса выемки в непрерывный процесс погрузки автосамосвалов, при этом наличие аккумуляющей емкости позволяет производить добычу даже в процессе замены автосамосвалов под погрузкой. Наличие аспирационных и сортировочных устройств обеспечивает отделение тонких фракций угля непосредственно во время выемочно-погрузочного процесса, что существенным образом уменьшает пыление в процессе добычи и перевалки угля.

Ключевые слова: добыча и транспортировка угля, производительность, тонкие фракции, пыление, ковш, дробилка, автосамосвал.

DUST REDUCTION DURING COAL MINING DUE TO IMPROVEMENT OF DRAWING EQUIPMENT

CHEBAN A. Yu.

Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian
Academy of Sciences, Khabarovsk

Abstract. An important environmental problem that accompanies the operation of coal mines, storage and transshipment terminals is the pollution of atmospheric air with coal dust, which is formed from fine fractions of loosened coal. The article proposes a mining unit based on a single-bucket hydraulic excavator, additionally equipped with a receiving hopper, a crusher, an accumulation tank, a sorting device, and a conveyor. The design of the excavation unit ensures high performance of work by converting the cyclic excavation process into a continuous process of loading dump trucks, while the presence of an accumulating capacity allows mining even in the process of replacing dump trucks under loading. The presence of aspiration and sorting devices ensures the separation of fine coal fractions directly during the excavation and loading process, which significantly reduces dusting during coal mining and transshipment.

Keywords: mining and transportation of coal, performance, fine fractions, dusting, bucket, crusher, dump truck.

Развитие горной науки и технологий разработки месторождений полезных ископаемых должно сопровождаться комплексным решением вопросов ресурсосбережения и малоотходности, снижения энергоемкости процессов горных работ, а также уменьшения их

отрицательного воздействия на окружающую среду [1–4]. В настоящее время Российская Федерация является одним из мировых лидеров по производству угля, при этом открытым способом добывается около 75 % угля. На экспорт отправляется около половины добываемого угля, при этом более половины вывозимого из страны угля отгружается через морские порты страны, крупнейшими импортерами российского угля являются Китай, Япония и Южная Корея, куда в 2021 году было экспортировано соответственно 53,4; 21,8 и 21,4 млн т угля [5]. Увеличение потребности стран Азиатско-Тихоокеанского региона в минерально-сырьевых ресурсах предопределяет развитие горнодобывающей отрасли на востоке России. Лидером по приросту добычи в 2012 г/ стал Дальневосточный федеральный округ, где добыча увеличилась на 11,3 % и составила около 88 млн т.

Важной экологической проблемой, сопровождающей работу угольных разрезов, складских и перегрузочных терминалов, является загрязнение атмосферного воздуха угольной пылью, которые может находиться в воздухе значительное время и перемещаться на большие расстояния [6–8]. Работа в условиях запыленности отрицательно влияет на состояние здоровья сотрудников, вызывая острые и хронические респираторные заболевания, болезни сердца и других органов, кроме того, пыление снижает видимость, губительно действует на окружающую флору и фауну. В настоящее время большинство угольных терминалов в дальневосточных портах относятся к открытому типу, вследствие чего пыль рассеивается не только по территории промышленной площадки, но и распространяется на жилые массивы, находящиеся вблизи территории портов (рис. 1). Наиболее сильно ухудшается ситуация в холодный период года, когда использование имеющихся в портах традиционных систем пылеподавления водой и водными растворами затруднено или невозможно [9].



Рис. 1. Погрузка угля зимой в одном из Дальневосточных портов

Обеспечение приемлемого уровня экономической эффективности горного производства при постепенном ужесточении условий экологической и промышленной безопасности требуют изыскания новых технических и технологических решений с учетом принципов рационального сочетания процессов горных работ [10–14]. Наличие большого количества тонких фракций в добываемом угле приводит к значительному пылению, потерям от просыпания и выдувания, ухудшению качества и снижению его рыночной стоимости.

Для повышения качества угля производят его сортировку с удалением угольной мелочи [15]. Известны конструкции рабочего оборудования горных комбайнов, обеспечивающие удаление тонких и мелких фракций угля непосредственно при ведении выемочного процесса [15? 16]. Так исполнительный орган угольного комбайна [16] через пустотелый вал соединен с воздухопроводом аспирационного устройства, осуществляющего отсос пыли из зоны разрушения горного массива. Недостатком горных комбайнов с фрезерными рабочими органами является образование значительного количества мелких фракций при рыхлении массива.

Наибольшее распространение на угольных разрезах получили одноковшовые экскаваторы [17–19]. При погрузке угля экскаваторами в автосамосвалы также происходит сильное пыление (рис. 2).



Рис. 2. Загрузка автосамосвала одноковшовым экскаватором

В научной литературе предлагаются технические решения, обеспечивающие повышение производительности одноковшовых экскаваторов за счет сокращения времени цикла копания, которое достигается за счет применения устройств, позволяющих преобразовывать циклический характер черпания в непрерывный поток погружаемой горной массы [20–21]. Недостатками одноковшовых экскаваторов и добычных комплексов является интенсивное пыление тонких фракций угля при его погрузке, необходимость остановки работы при замене автосамосвалов под погрузку, кроме того, происходит выдувание мелких и тонких фракций угля при его последующей транспортировке и перегрузках.

Целью исследования является разработка технико-технологического решения обеспечивающего снижение пыления выемочно-погрузочных работ при добыче и перевалке угля, а также увеличение функциональности и производительности выемочного агрегата, обеспечивающего извлечение, дробление, сортировку и погрузку угля.

Предлагается конструктивная схема выемочного агрегата на базе одноковшового гидравлического экскаватора, дополнительно снабженного приемным бункером 1 с просеивающей поверхностью 2, дробилкой 3, аккумулярующей емкостью 4, сортировочным устройством 5, транспортером 6 и некоторым другим оборудованием (рис. 3). Ковш 7 выемочного агрегата производит черпание разрыхленного взрывом массива угля и разгружает полезное ископаемое в приемный бункер 1, через просеивающую поверхность 2 которого мелкие и средние фракции угля ссыпаются в аккумулярующую емкость 4, крупные куски угля направляются к дробилке 3, откуда также попадают в аккумулярующую ем-

кость 4. Далее уголь поступает на сортировочное устройство 5, где происходит выделение тонких фракций угля размером менее 3мм, которые системой пневмотранспортирования 8 из накопителя 9 подаются в специальный герметичный бункер (на рис. не показан). Для пылеподавления и обеспечения лучшего отделения тонких фракций выемочный комплекс снабжен аспирационными устройствами 10. Основная масса угля транспортером 6 подается в кузов автосамосвала.

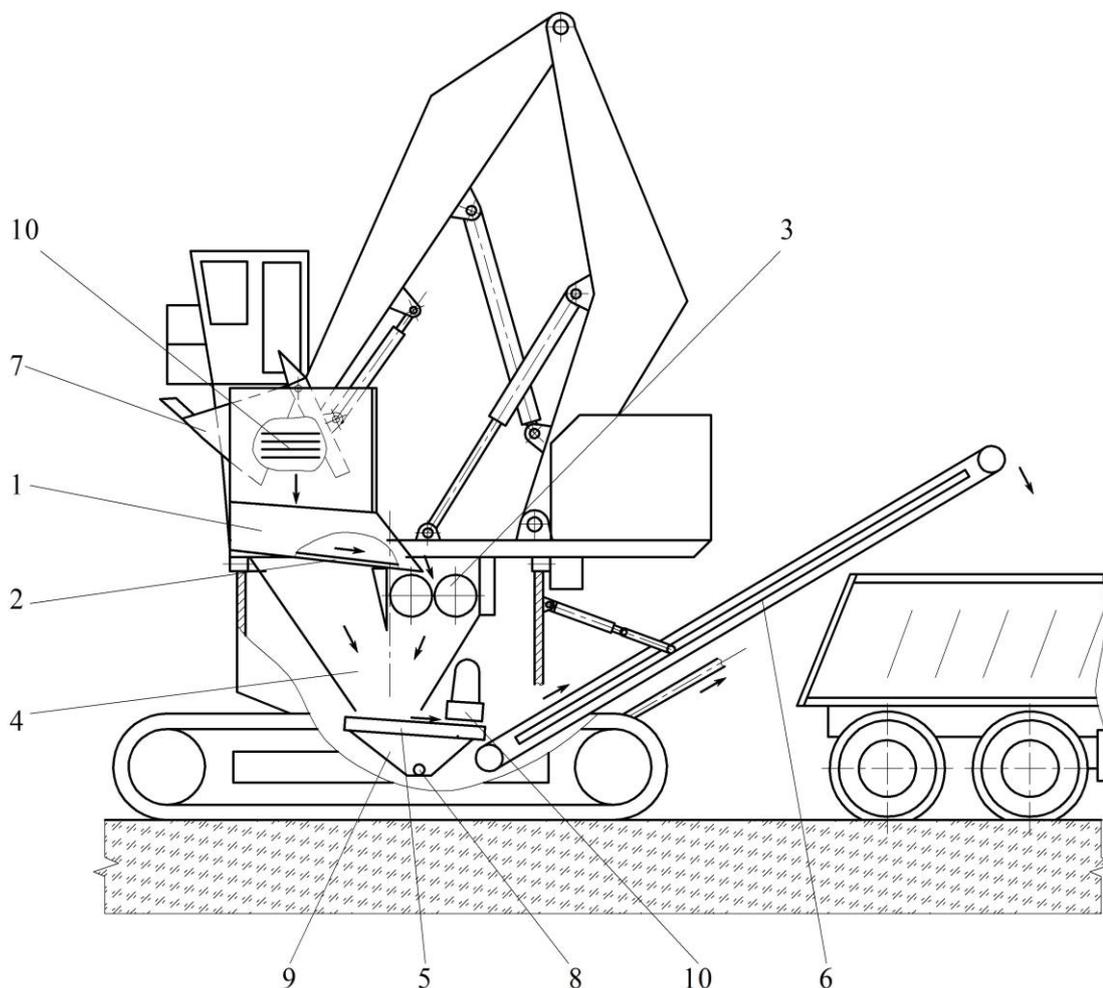


Рис. 3. Схема выемочного агрегата на базе одноковшового экскаватора

Использование аккумулялирующей емкости 4, позволяет вести безостановочную выемку угля и разгрузку ковша в приемный бункер 1 при замене автосамосвалов под погрузкой. Отделенные в ходе выемочно-погрузочного процесса тонкие фракции угля возможно направить на производство топливных брикетов.

Предлагаемое технико-технологическое решение позволяет обеспечить высокую производительность выемочного агрегата за счет исключения простоев при замене автосамосвалов под погрузкой, а также производить пылеподавление с одновременным удалением основной части тонких фракций при выемке и погрузке угля, что значительно снижает пыление в зоне ведения горных работ и в терминалах портов при последующей перевалке. Реализация предлагаемого решения обеспечит уменьшение потерь полезного ископаемого при добыче и транспортировке, улучшит экологическую обстановку, позволит снизить себестоимость угля и повысить рентабельность горного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трубецкой К. Н., Шапарь А. Г. Малоотходные и ресурсосберегающие технологии при открытой разработке месторождений. М.: Недра, 1993. 272 с.
2. Сандригайло И. Н., Арефьев С. А., Чеботарев С. И. Определение параметров и показателей работы карьерных комбайнов при добыче мрамора // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2016. Т. 15. № 21. С. 362–366.
3. Чебан А. Ю. Совершенствование технологий открытой разработки месторождений с использованием карьерных комбайнов и отвалообразователей // Записки Горного института. 2015. Т. 214. С. 23–27.
4. Юматов Б. П., Валатка З. И., Секисов А. Г., Зыков Н. В. Управление рудопотоками на карьерах с использованием ЭВМ // Горный журнал. 1984. № 12. С. 33–41.
5. Петренко И. Е. Итоги работы угольной промышленности России за 2021 год // Уголь. 2022. № 3. С. 9–23.
6. Jiuping Xu. Ecological coal mining based dynamic equilibrium strategy to reduce pollution emissions and energy consumption // Journal of Cleaner Production. 2017. No. 11. P. 514–529.
7. Чебан А. Ю. Выемочная техника, задействованная на угольных разрезах в южной части Дальневосточного региона // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2013. № 3 (30). С. 081–084.
8. Ворошилов Я. С., Фомин А.И. Влияние угольной пыли на профессиональную заболеваемость работников угольной отрасли // Уголь 2019. № 4. С. 20–25.
9. Агошков А. И., Блиновская Я. Ю., Голохваст К. С., Куксин Д. В. Перспективы экспорта российского угля и экологические проблемы строительства и эксплуатации угольных терминалов Дальнего Востока // Горный журнал. 2015. № 3. С. 56–60.
10. Васильева С. В., Секисов А. Г. Экономика отраслевых рынков. Изд-во. ЧитГУ, Чита, 2011. 124с.
11. Чебан А. Ю. Совершенствование циклично-поточных технологий ведения горных работ с применением карьерных комбайнов // Маркшейдерия и недропользование. 2019. № 1. С. 20–22.
12. Чебан А. Ю. Способ подготовки прочных горных пород к выемке при ведении строительных и добычных работ // Механизация строительства. 2017. № 9. С. 20–23.
13. Демченко И. И., Муленкова А. О. Технично-экономическое обоснование получение сортового угля в забое Балахтинского разреза Красноярского края // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 1. С. 36–47.
14. Секисов А. Г., Шевченко Ю. С., Лавров А. Ю. Взрывоинъекционная подготовка руд к выщелачиванию // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды: сб. науч. ст. Новосибирск, 2012. С. 125–132.
15. Чебан А. Ю. Способ добычных работ для малых угольных разрезов с применением усовершенствованного карьерного комбайна // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 2. С. 36–42.
16. Пат. № 2109945 Российская Федерация, МПК E21C 25/10, Исполнительный орган угольного комбайна.
17. Чебан А. Ю., Хрунина Н. П. Техника и технологии разработки угольных разрезов Приамурья и перспективы их развития // Маркшейдерия и недропользование. 2015. № 1. С. 19–21.
18. Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А., Лашук О. А., Плотников Н. С. Новый тип рабочего оборудования карьерного экскаватора // Уголь. 2018. № 12. С. 27–29.
19. Чебан А. Ю., Рассказов И. Ю., Литвинцев В. С. Анализ парка горных машин горнодобывающих предприятий Амурской области // Маркшейдерия и недропользование. 2012. № 2 (58). С. 41–50.
20. Казаков В. А., Кубышкин И. П. Добычной комплекс ДК-2000 // Горное оборудование и электромеханика. 2007. № 12. С. 35–38.
21. Чебан А. Ю. Добычной комплекс для открытой разработки месторождений твердых полезных ископаемых // Горное оборудование и электромеханика. 2017. № 3. С. 8–11.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ НА КАРЬЕРАХ СИБИРИ

УРУЙМАГОВ А. С.

ЗАО «ФАРН», Красноярск

Аннотация. В статье описан опыт создания и эксплуатации карьерных гидравлических экскаваторов. Приведены основные причины простоев из-за неисправностей гидравлического экскаватора, работающего в условиях Сибири. Предложены мероприятия, позволяющие избежать неблагоприятного влияния низких температур воздуха и других факторов на эффективность работы оборудования.

Ключевые слова: гидравлический экскаватор, Сибирь, низкие температуры, производительность.

PROSPECTS FOR THE USE OF HYDRAULIC EXCAVATORS ON THE QUARRIES OF SIBERIA

URUIMAGOV A. S.

CJSC "FARN", Krasnoyarsk

Abstract. The article describes the experience of creating and operating quarry hydraulic excavators. The main reasons for downtime due to malfunctions of a hydraulic excavator operating in Siberia are given. Measures are proposed to avoid the adverse effect of low air temperatures and other factors on the efficiency of the equipment.

Keywords: hydraulic excavator, Siberia, low temperatures, productivity.

Сегодня в Сибири работают десятки крупных гидравлических экскаваторов с различной вместимостью ковша. Их применяют при разработке месторождений руд цветных металлов, угля, золота и других полезных ископаемых. Как известно, к преимуществам гидравлических экскаваторов относятся:

- подвижность стрелы, рукояти и ковша, обеспечивающие селективную выемку полезного ископаемого, что позволяет существенно снизить его потери и разубоживание;
- меньшая, чем у канатных экскаваторов с аналогичной вместимостью ковша, длительность цикла;
- в 2–3 раза большая, чем у канатных экскаваторов скорость передвижения;
- возможность установки рабочего оборудования в варианте как «прямая лопата», так и «обратная лопата»;
- возможность установки на экскаватор дизельного двигателя или электропривода.

Интенсивное внедрение гидравлических экскаваторов на зарубежных горнодобывающих предприятиях началось в 1970-х гг. За последние десятилетия они хорошо зарекомендовали себя при работе в сложных забоях, при разработке месторождений с пластами и залежами, имеющими малую мощность, а также на горных предприятиях, находящихся в малоосвоенных районах, на значительном расстоянии от надежных источников электроснабжения. В настоящее время до 75–85 % карьерных экскаваторов массой более 150 тонн, реализуемых каждый год на мировом рынке горного оборудования, приходится на гидравлические экскаваторы.

Первый отечественный карьерный гидравлический экскаватор ЭГ-12 с вместимостью ковша 12 м^3 был создан на «Уралмаше» в 1978 г. (рис. 1). Испытания этой машины проводились на угольном разрезе в Кемеровской области. С учетом замечаний и недостатков, выявленных при эксплуатации, был создан модернизированный гидравлический экскаватор ЭГ-12А.

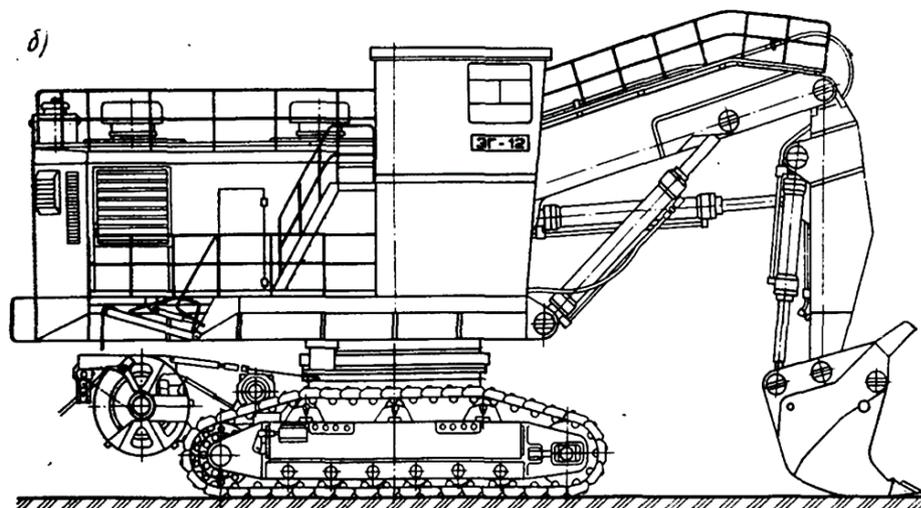


Рис. 1. Карьерный гидравлический экскаватор ЭГ-12

Его работа на разрезе «Кедровский» в комплексе с автосамосвалами Белорусского автозавода грузоподъемностью 75 и 110 т показала, что изменения, внесенные в конструкцию машины, позволили улучшить ее характеристики. Накопленный опыт применения этих машин позволил «Уралмашу» перейти к созданию более крупной модели гидравлического экскаватора ЭГ-20 с вместимостью ковша 20 м^3 . В ходе испытаний он показал высокую эффективность при работе в различных (в том числе сложноструктурных) забоях на погрузке, как в автосамосвалы, так и в думпкары.

При эксплуатации первых отечественных карьерных гидравлических экскаваторов были выявлены их достоинства и недостатки, что позволяло наметить направления совершенствования этих машин [1]. Однако дальнейшие работы, связанные с созданием на «Уралмаше» гидравлических экскаваторов в те годы были прекращены и серийное производство ЭГ-12 и ЭГ-20 так и не началось.

В 1990-х гг. попытки создания отечественных карьерных гидравлических экскаваторов возобновились. Так, на «Уралмаше» была создана новая машина – ЭГО-4 с вместимостью ковша 4 м^3 и рабочим оборудованием «обратная лопата». Этот экскаватор имел дизельный двигатель, что позволяло эксплуатировать его на предприятиях, не имеющих надежных источников электроснабжения.

На Ижорском заводе в 2002 г. был создан гидравлический экскаватор ЭГ-5,5 с вместимостью ковша $5,5 \text{ м}^3$. По результатам его эксплуатации был изготовлен модернизированный вариант, получивший название ЭГ-110. Этот экскаватор мог иметь рабочее оборудование в варианте как «прямая лопата», так и «обратная лопата». Эксплуатационная масса составляла 105 т. Дизель ЯМЗ-8506.10 имел мощность 450 кВт. Головной образец машины работал с сентября 2002 г. на предприятии ООО «ПГ Фосфорит» в г. Кингисеппе в Ленинградской области, выполняя погрузку руды, проходку дренажей и зачистку подошвы.

В 2002 г. ОАО «Руссо-Балт Тяжэкс» на Воронежском экскаваторном заводе был показан новый гидравлический экскаватор ДГЭ-1200 с вместимостью ковша $6\text{--}8 \text{ м}^3$. Он имел эксплуатационную массу 116 т и дизель мощностью 509 кВт. Всего были изготовле-

ны 4 такие машины. В планы предприятия входило создание линейки гидравлических экскаваторов с вместимостью ковша 4, 6, 10, 16, 22 и 32 м³.

ЗАО «УралСпецМаш» разработало, произвело и направило на испытания в Кузбасс на угольный разрез «Степановский» гидравлический экскаватор ЭГ-6 с ковшом вместимостью 6,5 м³. Этот экскаватор с эксплуатационной массой 115 т, имел двигатель мощностью 555 кВт и рабочее оборудование «прямая лопата».

Но все перечисленные выше модели отечественных гидравлических экскаваторов распространения на карьерах и разрезах не получили [1–3].

В значительной степени это связано с тем, что в последние 30 лет на горные предприятия России в больших количествах поступали современные карьерные гидравлические экскаваторы ведущих зарубежных производителей – фирм «Комацу», «Катерпилер», «Хитачи», «Либхерр» и других.

И только в 2018 г. ПАО «Уралмашзавод» создал новую перспективную модель карьерного гидравлического экскаватора УГЭ-300 с вместимостью ковша 16 м³, рабочим оборудованием «прямая лопата» и эксплуатационной массой 302 т. Максимальный радиус копания равен 14 м, максимальная высота копания 15,9 м, а высота разгрузки 11,2 м. Двигатель имеет мощность 1119 кВт (1500 л.с.) [2]. Эта машина прошла опытно-промышленную эксплуатацию в Кузбассе на угольном разрезе ЗАО «Стройсервис». Дальнейшее совершенствование конструкции этого экскаватора и запуск его в серийное производство являются на наш взгляд важной задачей.

В целом в ближайшие годы отечественным горным предприятиям необходимо приобрести десятки карьерных гидравлических экскаваторов, с различной вместимостью ковша. Большинство из них должны иметь дизельный двигатель. Дизельный привод обеспечивает возможность автономной работы гидравлического экскаватора в районах, в которых отсутствуют надежные источники электроснабжения. Это особенно важно сегодня, так как работы на новых месторождениях Сибири, Якутии и Северо-восточных регионов России часто осуществляются вахтовым методом.

В то же время, существенным недостатком карьерных гидравлических экскаваторов с дизельным приводом является относительно небольшой срок их эксплуатации, составляющий 8–12 лет [4–9]. Для своевременной замены старых изношенных машин, эксплуатируемых сегодня на карьерах России, требуется ускоренное создание новых моделей отечественных гидравлических экскаваторов и начало их серийного производства.

При создании новых моделей экскаваторов необходимо учитывать опыт использования на горных предприятиях как отечественных, так и зарубежных гидравлических машин, их сильные и слабые стороны. Требуется проанализировать причины их поломок и простоев, снижения производительности при работе в различных условиях.

Как видно из приведенного выше обзора опыта создания гидравлических экскаваторов в нашей стране, почти все они проходили испытания и опытную эксплуатацию на разрезах, находящихся в Сибири. Значительная доля работающих сегодня в России карьерных гидравлических экскаваторов зарубежных компаний также эксплуатируются на сибирских горных предприятиях. В связи с этим был изучен опыт работы гидравлических машин в этом регионе.

Выполнен анализ производительности, а также причин простоев и поломок гидравлических экскаваторов Komatsu PC 2000. Экскаваторы этой модели с рабочим оборудованием как «прямая лопата», так и «обратная лопата» и вместимостью ковша 11 или 12 кубометров широко используются на многих карьерах России и других стран мира. В Сибири они работают на разрезах «Черногорский», «Заречный», «Буреинский», «Тугнуйский», «Шахта № 12», «Шестаки», «Красногорский», «Пермяковский», а также в карьере Горевского ГОКа.

На находящемся в Мотыгинском районе Красноярского края месторождении гидравлические экскаваторы Komatsu PC 2000 с рабочим оборудованием «обратная лопата» и вместимостью ковша 12 кубометров осуществляют погрузку горной массы в автосамосва-

лы БелАЗ-75131, грузоподъемностью 136 т, а также БелАЗ-75585 и Komatsu HD-785, грузоподъемностью 90 т. Климат района резко континентальный. Средняя месячная температура января – 22,9 °С и июля +18,3 °С. Зима холодная, продолжительная (октябрь–апрель) и короткое жаркое лето (июнь–август). Среднегодовое количество осадков 470 мм. Основная доля осадков приходится на зимнее время. Мощность снежного покрова 1,5–2,5 м. Период распутицы весной (май–июнь) и осенью (октябрь–ноябрь). По совокупности природно-климатических условий район приравнен к районам Крайнего Севера.

Был выполнен анализ годовой производительности гидравлических экскаваторов Komatsu PC 2000 № 30 и № 31 на выемке и погрузке горной массы в забоях (рис. 2).

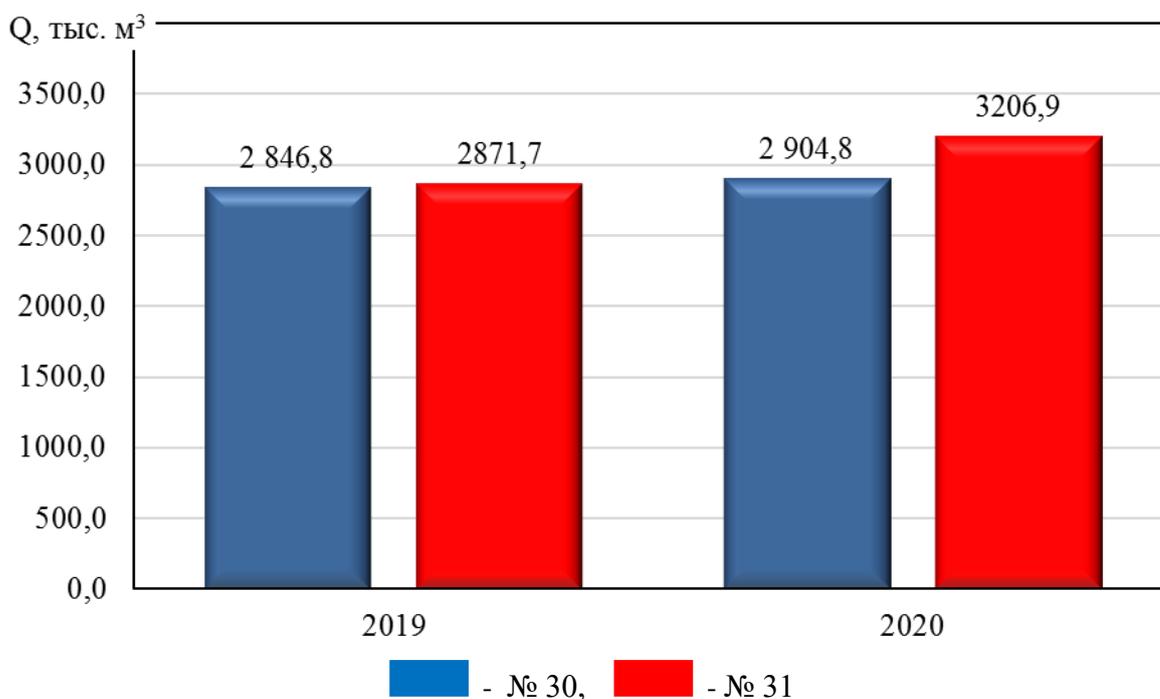


Рис. 2. Годовая производительность экскаваторов Komatsu PC 2000 № 30, 31 за 2019 и 2020 г.

Показатели работы гидравлических экскаваторов Komatsu PC 2000, эксплуатируемых на данном карьере, сравнивались с усредненными показателями работы пяти аналогичных машин, эксплуатирующихся на различных угледобывающих предприятиях Сибири (табл. 1).

Таблица 1. Показатели работы гидравлических экскаваторов Komatsu PC 2000 на горных предприятиях Сибири

Показатели	Экскаватор PC 2000 № 31	Среднее по 5 экскаваторам PC 2000
Среднегодовая производительность, тыс. м ³	3206,9	3531,1
Удельная годовая производительность, тыс. м ³ на 1 м ³ вместимости ковша	267,24	294,26
Коэффициент технической готовности	0,96	0,84

Как видно из табл. 1 показатели работы экскаваторов Komatsu PC 2000 близки на различных предприятиях Сибири. Их производительность в условиях как рудных карьеров, так и угледобывающих предприятий составляет 3200–3600 тыс. м³ в год. Удельная годовая производительность 267–295 тыс. м³ на 1 м³ вместимости ковша.

Величина коэффициента технической готовности гидравлического экскаватора Komatsu PC 2000 № 31 на карьере по месяцам 2019 г. приведена на рис. 3.

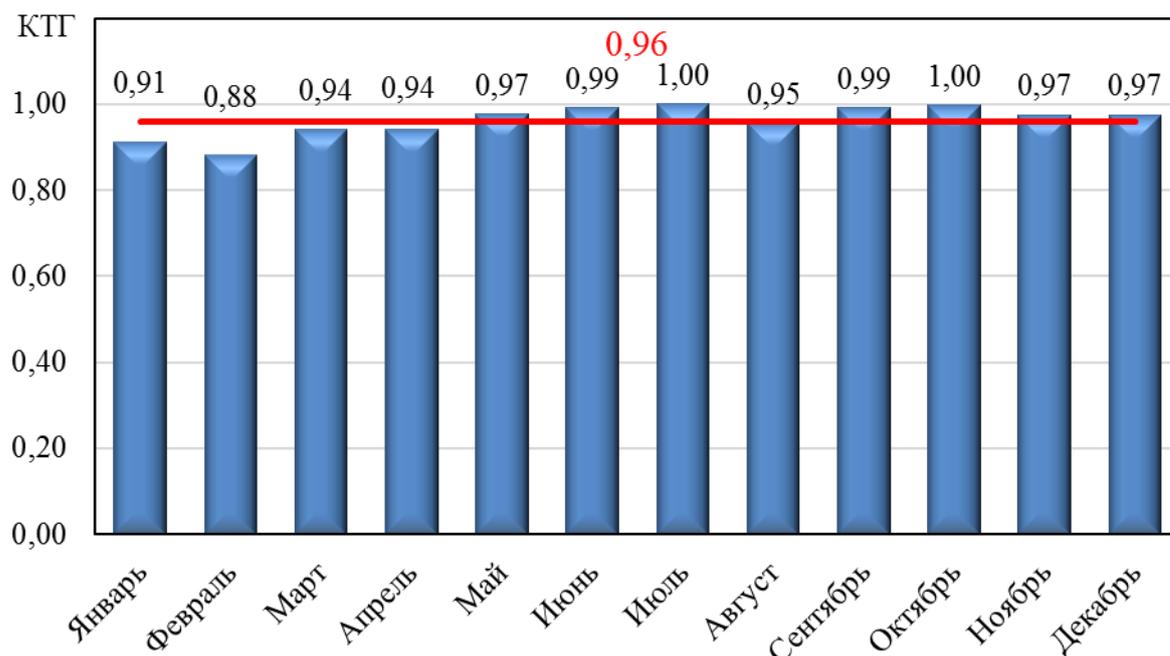


Рис. 3. Величина КТГ экскаватора Komatsu PC 2000 № 31 по месяцам 2019 г.

Довольно высокое значение коэффициента технической готовности равное 0,96, можно объяснить как высокими надежностью и качеством систем и агрегатов экскаватора, так и хорошей организацией технического обслуживания и проведения плановых ремонтов машин на данном предприятии.

Был также выполнен анализ причин простоев из-за неисправностей гидравлического экскаватора Komatsu PC 2000 № 31 в течение 2019 г. Результаты анализа приведены в табл. 2.

Таблица 2. Причины простоев из-за неисправностей гидравлического экскаватора Komatsu PC 2000 № 31 в 2019 г.

Причины простоев	Длительность простоев, ч	Доля, %
Неисправность гидравлики	27, 87	26,48
Неисправность механическая	45, 51	43,22
Неисправность электрооборудования	6,39	6,09
Сварочные работы	25,48	24,21
<i>Итого</i>	105,3	100

Как видно основные простои связаны с механическими неисправностями (43,22 %) и неисправностью гидравлики (26,48 %).

На эти неисправности необходимо обратить особое внимание при планировании технического обслуживания, создании резерва запчастей и развитии ремонтной базы предприятия. При проектировании новых моделей отечественных гидравлических экскаваторов, также надо уделить больше внимания вопросам повышения надежности механической части и гидравлики.

В связи с суровыми климатическими условиями многих районов Сибири можно сформулировать дополнительные требования к перспективным моделям отечественных карьерных гидравлических экскаваторов, которые будут эксплуатироваться в данном ре-

гионе. Для обеспечения эффективной работы при экстремальных морозах необходимо создание модификаций экскаваторов в северном исполнении. При изготовлении их узлов и деталей должны использоваться специальные сорта сталей и резины. В противном случае при существенных суточных перепадах температур на соединениях стальных и резиновых деталей может появляться конденсат. Уплотнения, неприиспособленные для эксплуатации в условиях очень низких температур, теряют герметичность и начинают пропускать рабочую жидкость. Изоляция электропроводки, теряет эластичность, интенсивно изнашивается и разрушается. С целью обеспечения быстрого запуска в работу при низкой температуре окружающего воздуха на экскаваторы должны устанавливаться стартер, генератор и аккумуляторные батареи увеличенной мощности. Необходима установка подогревателя для предпускового прогрева машины. Аккумулятор должен иметь внутренний электрообогрев. Для обеспечения нормальной работы в забое в период короткого зимнего светового дня, требуется установка дополнительного освещения.

С целью обеспечения работы экскаваторов в районах, в которых отсутствуют надежные источники электроснабжения, в первую очередь должны быть созданы модификации с дизельным двигателем.

Опыт работы предприятий, осуществляющих добычу угля, показывает, что более 60 % гидравлических экскаваторов, используемых на них, имеют рабочее оборудование в варианте «обратная лопата». В связи с этим необходимо предусмотреть возможность установки на перспективные модели отечественных гидравлических экскаваторов рабочего оборудования в варианте как «прямая лопата», так и «обратная лопата».

Анализ структуры поставок на горнодобывающие предприятия карьерных гидравлических экскаваторов зарубежного производства в период с 2010 г. показывает, что только 4 % от общего количества приходится на машины с вместимостью ковша более 20 м³. На экскаваторы с вместимостью ковша от 4–5 до 18–20 м³ приходится 96 % поставок. Из этого можно сделать вывод, что экскаваторы таких типоразмеров необходимо создавать и запустить в серийное производство в первую очередь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ворончихин Ю. Г. Развитие карьерных гидравлических экскаваторов АО «Уралмаш» // Горная промышленность. 1996. № 4. С. 38–39.
2. Костюкович Н. И., Самолазов А. В. Перспективная линейка отечественных карьерных гидравлических экскаваторов производства ОАО «Уралмашзавод» // Горная промышленность. 2015. № 2. С. 32–34.
3. Мельников Н. Н., Сатовский Б. И., Скобелев Л. С., Штейнцайг В. М. Карьерные гидравлические экскаваторы на отечественных горных предприятиях // Горный журнал. 1981. № 1. С. 13–16.
4. Мерзляков В. Г., Слесарев Б. В., Штейнцайг В. М. Опыт применения карьерных гидравлических экскаваторов Komatsu Mining Germany на предприятиях России // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 5. С. 15–20.
5. Подэрни Р. Ю., Булес П. Сравнительный анализ гидравлических и механических экскаваторов с прямой лопатой // Горный журнал. 2015. № 1. С. 55–61.
6. Скобелев Л. С. Совершенствование конструкции и повышение надежности мощных карьерных гидравлических экскаваторов. // Горный журнал. 1983. № 8. С. 52–54.
7. Слесарев Б. В., Булес П. Исследование условий и параметров экскавации мощных карьерных гидравлических экскаваторов. // Машины и оборудование для открытых горных работ: тез. конференции; в рамках 19-й Международной выставки «Горное оборудование, добыча и обогащение руд и минералов» (21 апр. 2015 г.). М.: Крокус Экспо. С. 5–9.
8. Стрельников А. В. Тюленев М. А. Применение обратных гидравлических лопат при разработке сложноструктурных угольных месторождений Кузбасса // Горное оборудование и электромеханика. 2011. № 1. С. 30–34.
9. Штейнцайг В. М., Слесарев Б. В. Опыт фирмы «Комацу Горное Германия» по внедрению гидравлических экскаваторов на горных предприятиях России // Горная Промышленность. 2002. № 6. С. 47–51.

О ПРИМЕНЕНИИ МАТРИЦЫ ПОЛЕЗНОСТЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОЙ ГЛУБИНЫ ВСКРЫШИ ТОРФОВ

КОРОСТОВЕНКО В. В., МЕДВЕДЬ Н. В., ЕГОРОВА Е. Л., МОРОЗОВ В. Н.

Сибирский федеральный университет, Красноярск

Аннотация. Выбор решения при проектировании разработки месторождений в связи с вероятностным характером геологических запасов всегда связан с определенным риском, поэтому экономически целесообразные границы вскрышных работ могут быть определены на основе учета достоверности геологической информации. Для определения влияния достоверности геологических данных на конечную глубину вскрышных работ предложено использовать методику, предложенную Д. И. Шитовым с использованием матрицы полезностей для различных исследуемых интервалов глубины вскрыши торфов.

Ключевые слова: россыпные месторождения касситерита, глубина вскрыши торфов, риск неподтверждения запасов, вероятность, показатель полезности.

ON THE APPLICATION OF THE UTILITY MATRIX FOR CALCULATING THE OPTIMAL DEPTH OF PEAT STRIPPING

KOROSTOVENKO V. V., MEDVED N. V., EGOROVA E. L., MOROZOV V. N.

Siberian federal university, Krasnoyarsk

Abstract. The choice of a solution when designing the development of deposits due to the probabilistic nature of geological reserves is always associated with a certain risk, that's way economically feasible boundaries of stripping operations can be determined on the basis of taking into account the reliability of geological information. To determine the influence of the reliability of geological data on the final depth of stripping operations, it was proposed to use the methodology proposed by D. I. Shitov using the utility matrix for various investigated intervals of peat stripping depth.

Keywords: placer deposits of cassiterite, depth of peat stripping, risk of non-confirmations of stocks, probability, utility indicator.

Выбор решения при проектировании разработки месторождений в связи с вероятностным характером геологических запасов всегда связан с определенным риском, поэтому экономически целесообразные границы вскрышных работ могут быть определены на основе учета достоверности геологической информации. Для определения влияния достоверности геологических данных на конечную глубину вскрышных работ воспользуемся методикой, предложенной Д. И. Шитовым с использованием матрицы полезностей для различных исследуемых интервалов глубины вскрыши торфов.

В контуре россыпи находится множество значений возможных запасов металла Q_1, \dots, Q_n , вероятности появления которых в интервале от Q_{\min} до Q_{\max} , согласно нормальному закону распределения (предполагая, что запасы подчиняются нормальному закону распределения) равны P_1, \dots, P_n (где $\sum_{i=1}^n P_i = 1, P_i \geq 0$). В соответствии с множеством значений запасов существует и множество возможных границ вскрыши торфов H_1, \dots, H_m (где $\sum_{j=1}^m H_j \leq H_T$; H_T – мощность торфов). Под значением полезностей в данном случае следует понимать критерии экономической эффективности. В качестве критериев могут быть приняты прибыль, полученная от реализации добытого металла:

$$B = CQ - Z_0, \quad (1)$$

где C – оптовая цена за единицу металла; Q – количество добытого металла; Z_0 – общие затраты на вскрышу, добычу и переработку полезного ископаемого (затраты на промывку и обогащение металлоносных песков при открытой разработке россыпей учитывают по статье «Эксплуатационные затраты»);

прибыль с учетом потерянного компонента

$$B_{\pi} = B - (CQ_{\text{в}} - Z_{\text{д}}), \quad (2)$$

$CQ_{\text{в}}$ – ценность потерянного металла; $Z_{\text{д}}$ – затраты на добычу и переработку полезного ископаемого, теряемого при вскрыше торфов;
себестоимость единицы металла

$$C_M = Z_0/Q. \quad (3)$$

Мощность торфов разрабатывается на m исследуемых интервалах, при каждом из которых определяются вероятности достижения соответствующих экономических показателей, а также вероятности появления запасов.

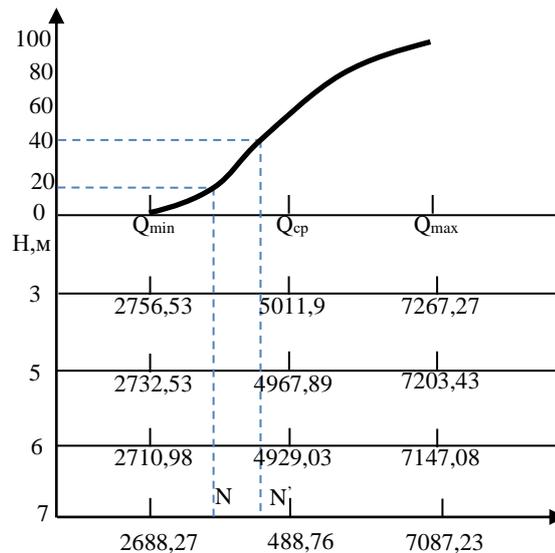


Рис. 1. Риск неподтверждения запасов при различных вариантах глубины вскрыши торфов

Показатель полезности для различных границ вскрыши торфов определяется как среднее ожидаемое полезности

$$\Pi = \sum_{i=1}^n \Pi_i P(\varepsilon_i) \rightarrow \max, \quad (4)$$

где $P(\varepsilon_i)$ – вероятность достижения экономических показателей в соответствующих интервалах.

Определение оптимальной глубины вскрыши торфов проиллюстрируем на примере одного из россыпных месторождений касситерита. Средневзвешенная ошибка подсчета запасов составила $\varepsilon_{p(\varepsilon)} = 0,45$. За математическое ожидание запасов металла приняты запасы, подсчитанные по данным геологической разведки, $M[Q] = 5011,9$ усл.ед. Среднее квадратическое отклонение запасов по правилу трех сигм составило

$$\delta(Q) = \frac{M[Q] + \varepsilon p(\varepsilon_i)}{3} = \frac{5011,9 + 0,45}{3} = 751,8 \quad (5)$$

Учитывая распределение содержания полезного компонента по скважинам, на месторождении выбраны следующие возможные варианты глубины вскрыши торфов -3,5,6,7 м. Плотность распределения запасов для каждого варианта вскрыши торфов с учетом $\delta(Q)$ определяется из выражения:

$$f(Q) = \frac{1}{751,8\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(Q_i - 5011,9)^2}{2 \cdot 751,8^2}} \quad (6)$$

Полагая, что с каждым слоем вскрыши торфов оставшийся объем также подчиняется нормальному закону распределения, определяется риск неподтверждения запасов.

Зная плотность распределения, устанавливаем динамику риска R неподтверждения запасов соответственно при 3, 5, 6 и 7 м (рис. 1). После определения риска производится расчет экономических показателей, которые сводятся в таблицу. По этим данным, используя выражение (4), определяется показатель полезности для каждого критерия. При H = 3 м показатель полезности по B составит П = 48331544 руб. Аналогичный расчет производится по B_п и C_м для всех вариантов вскрыши торфов с построением графиков П = f(H). В завершение выбирается нижняя и верхняя границы запасов при данных уровнях риска - в точках K, N при риске 20 % и K', N' риске 40 % (рис.1). Запасы металла, соответствующие этим точкам и изменяющиеся в зависимости от глубины вскрыши торфов, равны соответственно при 20 % Q_{min} = 3861 усл.ед.; Q_{max} = 3959 усл.ед.; при 40% Q_{min} = 4593 усл.ед., Q_{max} = 4710 усл.ед.

Таблица 1. Значения экономических показателей

Значение возможной мощности вскрыши торфов H _j , м	Распределение запасов полезного компонента Q _i с вероятностью P(Q _i)	Прибыль без учета потерь полезного компонента B, руб.	Прибыль с учетом потерь полезного компонента B _п , руб.	Себестоимость единицы полезного компонента C _м , руб./усл. ед.
3	2756,53/0,029	24463789/0,030	24341685/0,029	2,27/0,0296
	7267,24/0,029	64495435/0,030	64179525/0,029	5,99/0,0296
.....				
5	2732,35/0,030	23632527/0,0296	23189440/0,029	2,39/0,0296
	7203,43/0,030	62303920/0,0296	61135792/0,029	6,31/0,0286
.....				
6	2710,98/0,030	23466764/0,03	22734599/0,03	2,39/0,0299
	7147,06/0,030	61866914/0,03	59936669/0,03	6,29/0,0299
.....				
7	268827/0,030	22960927/0,030	21933187/0,029	2,45/0,0296
	7087,23/0,030	60533347/0,030	57823721/0,029	6,47/0,0895

Примечание: в числителе – значения показателей, в знаменателе – вероятность их появления.

Затем на совмещенном графике показателей полезности и риска неподтверждения запасов в зависимости от глубины вскрыши торфов определяют запасы металла, соответствующие точкам L, L', которые определяют средние значения ожидаемых запасов в интервале от Q_{min} до Q_{max} при уровне риска 20 и 40 % (рис.2). Из этих точек восстанавливается перпендикуляр до пересечения с графиками, на которых выделяется область оптимальных глубин вскрыши торфов. Средним значением в этой области является глубина. H₀ = 5 м, которая и определяет экономически целесообразную глубину вскрышных работ с учетом достоверности геологической информации.

КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ И ПОНЯТИЯ

САИДОВ М. К., РАХМАТОВ А. А.

Горно-металлургический институт Таджикистана, Чкаловск, Таджикистан

Аннотация. В развитие ранее выдвинутого научного направления в области рационального природопользования и охраны окружающей среды – комплексного освоения техногенных месторождений – представляется целесообразным сформулировать общую концепцию техногенных месторождений, уточнить их классификацию, а также основные категории и понятия. Классификация охватывает основные классы техногенных формирований в соответствии с их назначением: минерально-сырьевым, ландшафтным, экологическим. Первоочередными задачами, решение которых должно способствовать ускорению наиболее полного использования техногенных минеральных ресурсов наряду с разработкой эффективных технологических схем получения товарной продукции, являются оценка качества, разработка кондиций, дифференциация и геометризация запасов техногенных месторождений, что требует проведения разведочных работ.

Ключевые слова: техногенный, классификация, месторождения, эффективность, хвостохранилища, минерально-сырьевой, извлечения.

THE CLASSIFICATION OF TECHNOGENIC DEPOSITS, MAIN CATEGORIES AND CONCEPTS

SAIDOV M. K., RAKHMATOV A. A.

Mining-Metallurgical Institute of Tajikistan, Chkalovsk, Tajikistan

Abstract. In the development of the previously put forward scientific direction in the field of rational nature management and environmental protection – the integrated development of technogenic deposits – it seems appropriate to formulate a general concept of technogenic deposits, clarify their classification, as well as the main categories and concepts. The classification covers the main classes of technogenic formations in accordance with their purpose: mineral resources, landscape, ecological. The primary tasks, the solution of which should contribute to accelerating the most complete use of technogenic mineral resources, along with the development of effective technological schemes for obtaining marketable products, are quality assessment, development of conditions, differentiation and geometrization of reserves of technogenic deposits, which requires exploration.

Keywords: technogenic, classification, deposits, efficiency, tailings, mineral resources, extraction.

В развитие ранее выдвинутого научного направления в области рационального природопользования и охраны окружающей среды – комплексного освоения техногенных месторождений – представляется целесообразным сформулировать общую концепцию техногенных месторождений (ТМ), уточнить их классификацию, а также основные категории и понятия. Необходимость в этом обусловлена усилившимся вниманием к проблеме ТМ специалистов, а также увеличением числа новых публикаций, в которых отдельные понятия и концептуальные подходы к решению проблемы трактуются по-разному [1].

Предложенная классификация [2] основных факторов комплексного освоения ТМ вызвана необходимостью группирования ТМ по характеристикам, позволяющим разрабатывать конкретные рекомендации по эффективному освоению техногенных месторождений, идентичных по технологическим, химическим и другим свойствам. Классификация представляла перечень признаков, характеристик и их значений, влияющих на показатели освоения ТМ.

Классификация охватывает основные классы техногенных формирований в соответствии с их назначением: минерально-сырьевым, ландшафтным, экологическим. Вместе с тем, наряду с таким достоинствами, как конкретность и удобочитаемость, классификация в большей мере тяготеет к систематизации техногенных нарушений и способов их ликвидации. Неправомерно также включение в класс поверхностных техногенных формирований естественных емкостей (оврагов, балок, зон с заболоченным рельефом).

Классификация построена на учете основных особенностей слагающих техногенных минеральных объектов (ТМО) минеральных веществ и их сочетаний. Употребляемая терминология предельно точно и взаимосвязана. Однако сомнительна целесообразность деления ТМО на три категории: древние, старые (образованные в дореволюционную эпоху) и современные (образованные в послереволюционный период).

Классификация не дает полной характеристики ТМО, так как, подробно раскрывая особенности слагающих минеральных веществ, не учитывает признаки второго рода (форму, геометрические параметры, особенности внутреннего строения и т. д.).

Систематизация о техногенных месторождениях направлена, прежде всего, на повышение эффективности использования ресурсов техногенного минерального сырья. Поэтому главным признаком является принцип формирования техногенных месторождений, выделяющий две основные категории; ТМ созданные без учета последующего освоения, и ТМ с оптимальными параметрами. Первые формировались на основе традиционных требований к складированию отходов производства совершенствования горно-обогатительной технологии. Вторые, спроектированные с учетом качества сырья, технологии будущей разработки и изменения конъюнктурных условий, формируются целенаправленно с обоснованием оптимальных параметров (формы, размеров, внутреннего строения, местоположения, качества техногенного сырья). Оптимальные параметры ТМ позволят применить эффективную систему разработки, снизить транспортные расходы, обеспечить сохранность качества всех видов техногенного сырья, исключить разведочно-оценочные работы при освоении ТМ, а также частично предотвратить потерю, земельных ресурсов.

Следует остановиться на определении основных категорий, понимание которых должно обеспечивать единый подход к проблеме комплексного освоения ТМ.

Техногенные минеральные ресурсы – совокупность запасов техногенного минерального сырья, содержащегося в отходах горно-обогатительного и металлургического производства, в пределах какого-либо региона или страны в целом.

Техногенные образования или объекты (минеральные) – скопление минеральных веществ на поверхности земли или в горных выработках, образовавшееся в результате отделения их от массива и складирования в виде отходов горного, обогатительного и металлургического производства.

Техногенные месторождения (ТМ) – техногенные образования, по количеству и качеству содержащегося минерального сырья пригодные для эффективного использования в сфере материального производства в настоящее время или в будущем (по мере развития науки и техники).

Техногенная залежь – условно выделенное в пространстве скопление техногенного сырья, отвечающее требованиям промышленности и непрерывное по своим свойствам.

Первоочередными задачами, решение которых должно способствовать ускорению наиболее полного использования техногенных минеральных ресурсов наряду с разработ-

кой эффективных технологических схем получения товарной продукции, являются оценка качества, разработка кондиций, дифференциация и геометризация запасов ТМ, что требует проведения разведочных работ. Значительные объемы накопленных отходов (особенно обогатительного производства), содержащие различные полезные компоненты, используются горными предприятиями в настоящее время в основном для твердеющей закладки подземных выработка без предварительного до извлечения этих полезных компонентов, что переводит их в разряд безвозвратных потерь. Большинство техногенных ресурсов следует рассматривать не в качестве отходов-загрязнителей и даже не как вторичное, сырье, а как особую категорию общественно полезных ресурсов, которые имеют экономическое и территориальное значение для решения задач интенсификации народного хозяйства. Поэтому необходимо оценивать формирующиеся техногенные образования прежде всего по сырьевым критериям, учитывающим ресурсную ценность так называемых отходов. Важное значение в этой связи имеет предлагаемая нами дифференциация техногенных ресурсов на пригодные, перспективные и непригодные для до извлечения ценных компонентов. Очень важна категория перспективных техногенных ресурсов для доизвлечения полезных компонентов в будущем, так как эти запасы быть сохранены и не могут быть использованы ни для каких целей, кроме как для до извлечения полезных компонентов.

Вполне естественно, что проведению разведочных работ на техногенных месторождениях должны предшествовать положительная прогнозная (кадастровая) оценка, а также потребность в том или ином продукте, который может быть получен их техногенного минерального сырья. При этом оценка техногенных объектов должна быть обязательно технико-эколого-экономической, поскольку экологический аспект их комплексного освоения наряду с сырьевым является важнейшим. В случае отрицательного результата, а также при отсутствии потребности в полезных компонентах или в нерудном сырье производится рекультивация отвалов и хвостохранилищ и приведение их в состояние, пригодное для использования в сельском хозяйстве или исключающее загрязнение окружающей среды.

Особое место среди техногенных месторождений занимают хвостохранилища (гидроотвалы), представляющие собой естественные классификаторы отходов обогащения по крупности и массе частиц мелкодисперсного материала. По этой причине, а также в результате процессов окисления, выщелачивания и миграции происходит образования обогащенных полезными компонентами зон-техногенных залежей. Выделение и геометризация таких залежей в процессе разведочных работ позволит в 1,5–2 раза повысить содержание полезных компонентов по сравнению с общей массой накопленных отходов. Отсюда следует вывод о необходимости отдельного технологического опробования материала из таких зон, а при положительной технико-экономической оценке-их селективной выемки и переработки.

Поскольку практически все техногенные ресурсы отличаются более низкими концентрациями полезных компонентов, для их доизвлечения традиционные технологии могут быть малоэффективны. Поэтому необходимо рассмотреть целесообразность применения для обогащения не только флотации, но в большей степени гидрометаллургических и комбинированных процессов. В некоторых случаях при переработке различных смесей техногенного сырья могут быть использованы пирометаллургические методы (хлорид-возгонка, вальцевание).

Для предварительного обогащения как рудного, так и нерудного строительного сырья могут быть применены различные методы сепарации (в том числе и крупнокусковой), гидроотсадки и др.

Разнообразие видов техногенных месторождений по технологическим признакам предопределяет возможность использования для их разработки не только традиционной экскаваторной выемки и автотранспорта, но и геотехнологических методов добычи, а также гидродобычи, комбинированных способов, различных видов транспортирования материала к перерабатывающим комплексам.

Отмеченные особенности техногенных месторождений, нашедшие отражение в их классификации, требуют обязательного учета при проектировании технологии разработки и перерабатывающих производства. С этой целью целесообразно разработать требования и нормы по проектированию разработки техногенных месторождений, которые ориентировали бы проектировщиков и технологов на неординарные, но эффективные решения.

Особой категорией выступают целенаправленно сформированные техногенные месторождения (в том числе и подземные) с оптимальными параметрами, которые несут ресурсосберегающую и природоохранную функции. Здесь следует отметить необходимость учета возможности управления внутренним строением и качеством складированного материала ТМ не только отвального типа, но и гидроотвалов, хвосто- и шламохранилищ. Причем при создании ТМ можно прогнозировать и управлять физико-химическими свойствами материала в процессе хранения, добываясь или его дополнительной дезинтеграции, окисления, выщелачивания (в хвосто- и шламохранилищах), или консервации и сохранения первоначальных свойств.

В заключение отметим тесную связь проблемы комплексного освоения техногенных месторождений подземного типа и повторной разработки природных месторождений. Запасы, оставшиеся в недрах в результате отработки природных месторождений в виде целиков, корок, рудных мостов, классифицируются как природно-техногенные объекты, т.е. минеральные объекты, представленные неотделенным от массива (или залежи) природным минеральным веществом. В совокупности с техногенными ресурсами при их подземном складировании они могут представлять предмет исследования рассматриваемой проблемы. Самостоятельно же такие объекты должны являться предметом исследований уже оформившейся проблемы повторной разработки месторождений.

Изложенный общий концептуальный подход к проблеме комплексного освоения техногенных месторождений и их классификация позволяют подойти к дальнейшему решению основных задач целенаправленно и системно, упростить задачу обоснования оптимальных параметров вновь создаваемых ТМ, ускорить решение проблемы комплексного освоения техногенных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мальченко Ю. И., Уманец В. Н., Толумбаев А. З. Системный подход к определению основных задач проблемы комплексного использования отходов горнорудного производства // Комплексное использование минерального сырья. 1985.
2. Трубецкой К. Н., Уманец В. Н., Никитин М. Б. Классификация техногенных месторождений и основные факторы их комплексного освоения // Комплексное использование минерального сырья. 1987.
3. Мельников Н. В. Проблемы комплексного использования минерального сырья // Горная наука и рациональное использование минерально-сырьевых ресурсов. М.: Наука, 1978. С. 14–28.
4. Шарапов А. Г., Копач П. И., Якубенко Л. В., Гулямов Б. С. Технологические аспекты разработки техногенных месторождений на базе шламохранилищ // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2006.

УДК 622.621: 615

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО
РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ УГЛЕЙ**

ПОТАПОВ В. Я., ПОТАПОВ В. В.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

Аннотация. Рентгенорадиометрический метод обогащения основан на возбуждении атомов анализирующих элементов с помощью первичного излучения и на последующей регистрации характеристического излучения возбужденных атомов с помощью специальной аппаратуры. Рентгеновские лучи представляют собой электромагнитное излучение, занимающее широкий диапазон спектра ($4,5 \cdot 10^{-8}$ – 10^{-14} м) и возникают в результате переходов электронов между различными уровнями энергий в электронной оболочке или при торможении заряженных частиц. В результате взаимодействия излучения указанного диапазона с веществом происходит ионизация атомов.

Ключевые слова: разделение углей, спектр, энергия, угольная масса, алгоритм разделения, сепаратор.

**THE USE OF SECONDARY CHARACTERISTIC X-RAY RADIATION FOR THE
IDENTIFICATION OF COALS**

POTAPOV V. Ya., POTAPOV V. V.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

Abstract. The X-ray radiometric enrichment method is based on the excitation of the atoms of the analyzing elements with the help of primary radiation and on the subsequent registration of the characteristic radiation of the excited atoms with the help of special equipment. X-rays are electromagnetic radiation occupying a wide range of the spectrum and arise as because of electron transitions between different energy levels in the electron shell or during braking of charged particles. Because of the interaction of radiation of the specified range with matter, ionization of atoms occurs.

Keywords: Coal separation, spectrum, energy, coal mass, separation algorithm, separator.

Разделение углей на высокочольные и низкочольные можно осуществлять с помощью рентгенорадиометрических методов.

Рентгенорадиометрический метод обогащения основан на возбуждении атомов анализирующих элементов с помощью первичного излучения и на последующей регистрации характеристического излучения возбужденных атомов с помощью специальной аппаратуры. Рентгеновские лучи представляют собой электромагнитное излучение, занимающее широкий диапазон спектра ($4,5 \cdot 10^{-8}$ – 10^{-14} м) [1] и возникают в результате переходов электронов между различными уровнями энергий в электронной оболочке или при торможении заряженных частиц. В результате взаимодействия излучения указанного диапазона с веществом происходит ионизация атомов.

Поскольку электроны, окружающие атомное ядро, располагаются на отдельных энергетических уровнях (К, L, M и т. д.) при удалении одного из электронов атом оказывается в возбужденном состоянии. Он возвращается в нормальное состояние путем целого каскада последовательных переходов электронов с одного энергетического уровня на другой с постепенным снижением энергии перехода. В результате таких переходов избыток энергии атома теряется за счет испускания фотонов, образующих характеристическое рентгеновское излучение (ХРИ) называемое также рентгеновским флуоресцентным излучением.

Энергия характеристического рентгеновского излучения элемента согласно закону Мозли пропорционально квадрату его атомного номера, т.е. для каждого элемента энергия его характеристических рентгеновских линий строго фиксирована, и их интенсивность определяется массовой концентрацией этого элемента в исследуемом образце. Эти два обстоятельства и являются физической основой рентгенорадиометрического метода.

Рентгенорадиометрический метод (РРМ) деления относится к числу «прямых» методов. При РРМ наличии в качестве аналитических параметров наибольшее распространение к настоящему времени получили способы спектральных интенсивностей, спектральных отношений и спектральных разностей.

Для возможности деления углесодержащих формаций РРМ, воспользуемся способом спектральных отношений. В этом способе производится измерение спектральных величин h_1 , представляющих собой отношение счета импульсов N_x и N_s , определяемого элемента и рассеянного излучения источника возбуждения.

Потоки ХРИ и рассеянного излучения в одинаковой мере зависят от геометрии измерения, величины потока возбуждения излучения и эффективности детектора. Для деления высокозольных углей использование данного метода затруднено в виду того, что влияние вещественного состава вмещающих пород проявляется слабо и может сказаться лишь в случае существенного различия массовых коэффициентов для ослабления характеристического рентгеновского и рассеянного излучения, когда интенсивность потока излучения прошедшего слой вещества и отраженного от него определяется зарядом ядер Z и числом атомов в единице объема.

Основным источником ошибок измерения зольности РРМ является неустойчивое содержание в угле соединений железа, кальция, серы, для компенсации которых предусмотрена фильтрация рассеянного излучения.

Эффективность способа спектральных отношений было проверено при изучении разделительных признаков углей: ОАО «Экибастуз» и ОАО «Вахрушевуголь», шахта «Коркинская» ОАО «Челябинскуголь» [1–3].

Для исследования была отобрана проба класса –50+25 мм из проб рядовой добычи.

Испытание проводились на промышленном четырехручьевом рентгенорадиометрическом сепараторе СРФ-4-150, установленном на технологическом стенде «Радос». Для изучения контрастности, настройки сепаратора, предварительного режима сепарации от исследуемого продукта были отобраны 100 кусков по каждому типу месторождений.

Измерение этих продуктов осуществлялось при сводном падении с раскладчика со скоростью 1м/с. Ширина щели коллиматора была равна 20 мм, что обеспечивало время экспозиции кусков в зоне регистрации 20 мс. Режим работы рентгеновского излучателя ПРАМ-50 задавался для оптимального выделения низкозольных углей путем выбора материала анода рентгеновской трубки – Re, напряжение анода РТ – 46 кВ, ток анода РТ – 50 мА; фильтр A_1 – 5шт. В качестве детектора рентгеновского излучения использовался пропорциональный газовый счетчик СИ 11 Р-3 (Хе).

Добытая угольная масса обычно состоит из кусков угля, породы и их сростков, резко различающихся по химическому составу. Уголь состоит из элементов, практически не активирующихся под действием рентгеновского излучения. Вмещающие породы (зола) обычно содержат в большом количестве, кремний, железо и другие элементы из которых железо вносит основной вклад в отличие спектральных характеристик рассеянного излу-

чения породы и угля при облучении рентгеновским излучением. При этом различие в породных и угольных кусках возрастает пропорционально содержанию железа в породе ($Fe = 11-25\%$) и в угле ($Fe = 1-2\%$).

Для повышения точности идентификации угля и породы применен метод спектральных отношений, который позволяет устранить влияние изменчивости размеров и формы кусков, а также геометрии измерения.

Выбор алгоритма разделения основанного на методе спектральных отношений, для настройки сепараторов в режиме сортировки осуществлялся на основании анализа спектральных характеристик ХРИ угля и вмещающих пород для этих месторождений. На рис. 1, 2 приведены характерные спектры ХРИ, полученные на сепараторе СРФ-4-150 ОАО «Радос» [1, 3].

Полученные спектры позволяют выбрать режим сепарации и установить порог разделения угля и вмещающих пород, а также выбрать алгоритм разделения.

При анализе спектральных характеристик выбран аналитический параметр h_{A^d} , который связан с зольностью кусков угля и определяется по формулам:

$$h_{A1^d} = \frac{N_{4,5-7,5}}{N_s}, \quad (1)$$

$$h_{A2^d} = \frac{N_{\text{впад}}}{N_s}, \quad (2)$$

где $N_{4,5-7,5}$, $N_{\text{впад}}$ - интенсивность регистрируемого вторичного ХРИ излучения в области 4,5–7,5 кэВ и впадины (поз. 1, 2) рис. 1, 2; N_s - интенсивность в области вторичного рассеянного рентгеновского излучения источника.

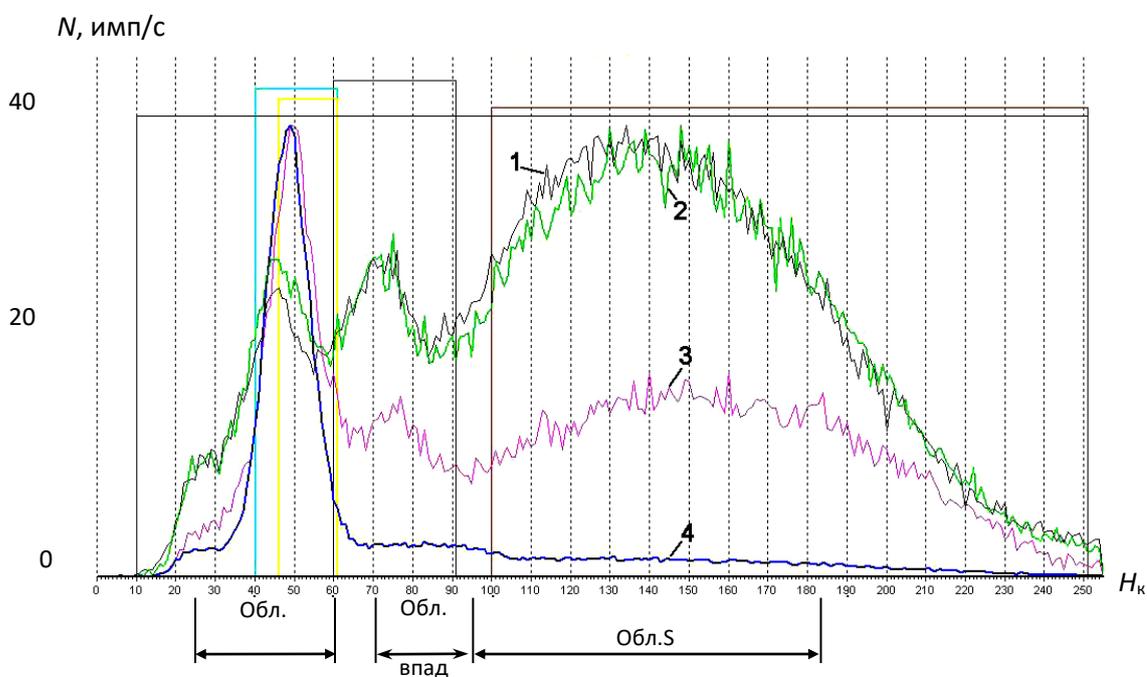


Рис. 1. Спектры ХРИ угольных образцов месторождения Буланаш: 1, 2 – уголь; 3 – сросток; 4 – порода (сняты на сепараторе СРФ-4-150, H_k – номер канала; N – интенсивность по отдельным каналам)

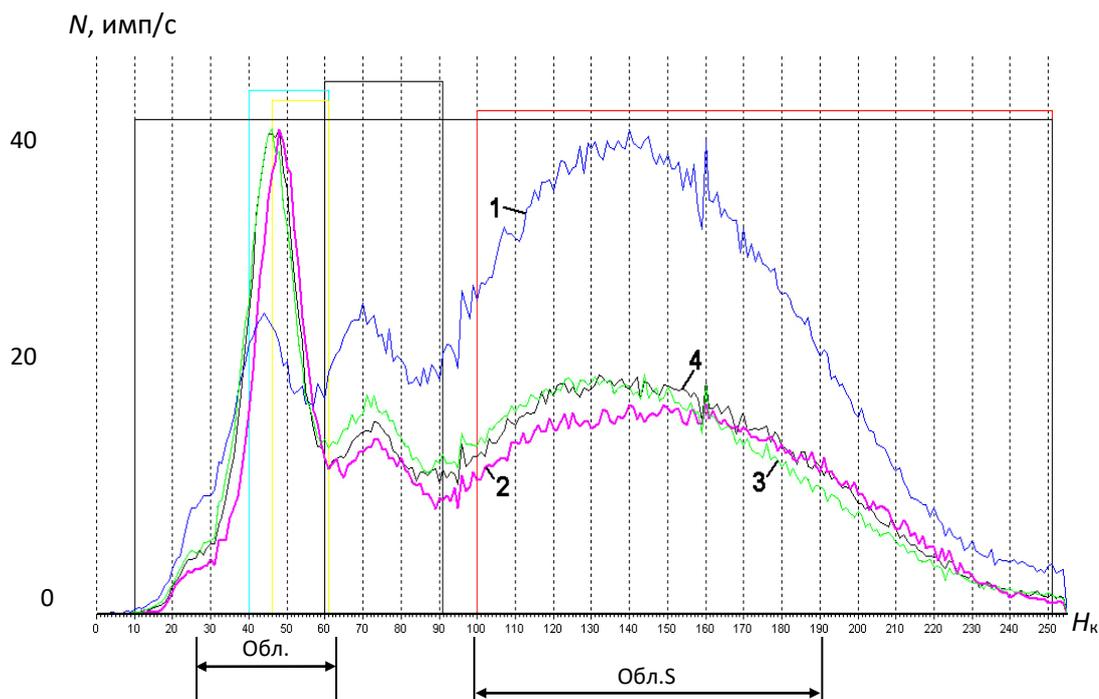


Рис. 2. Спектры ХРИ угольных образцов шахты «Коркинская»: 1, 2 – уголь; 3 – сросток; 4 – порода (сняты на сепараторе СРФ-4-150, H_k – номер канала; N – интенсивность по отдельным каналам)

Выбор алгоритма разделения (1) основан на определении интенсивности вторичного характеристического излучения в области $N_{4,5-7,5}$ и вторичного рассеянного рентгеновского излучения N_s . Если в зоне измерения находится кусок угля (рис. 1. поз. 1, 2, рис 2. поз. 1), то интенсивность отраженного излучения отражается на спектре с незначительными потерями, поэтому интенсивность отраженного излучения остается на уровне излучения рентгеновской трубки, на спектрах это соответствует подъему α -характеристики N_s , т.е. в органическом соединении присутствует в большом количестве углероды, водород кислород и вода.

Если в зоне измерения находится породный кусок или сросток (рис. 1. поз. 3, 4, рис. 2 поз. 2, 3, 4) характеризующийся неорганическими составляющими (железом, кальцием, стронцием, серой, фосфором и др.), часть рассеянного излучения N_s переходит на возбуждение присутствующих в составе куска элементов. При этом происходит «перекачивание» N_s рассеянного излучения на возбуждение этих элементов и пик рассеянное N_s становится ниже (см. рис. 1, 2), при этом происходит поднятие пика спектральной характеристики железа.

Алгоритм (2) характеризуется следующим, если минерализация исследуемых углей по содержанию железа, кальция, стронция, серы, фосфора мала, о чем свидетельствует малая амплитуда пика железа, впадина поднимается от оси Е, кэВ-энергии квантов, что соответствует меньшей зольности $h_{A_1^d} = 0,079$. Увеличение минерализации угля приведенными элементами приводит к стремлению впадины приблизиться к оси Е, что соответствует увеличению зольности и параметра $h_{A_1^d} = 0,164$ и $h_{A_1^d} = 0,291$ соответственно. При этом происходит поднятие пика спектральной характеристики железа.

Исследования разности пиков рассеянного излучения в спектре позволяет выбрать порог разделения и управлять качеством углей по присутствующей в них зольности.

Для количественного анализа присутствующих в образцах элементов неорганической фазы проведен спектральный анализ на спектрометре «Spectroscan», принцип действия которого основан на возбуждении вторичного рентгеновского излучения при облучении первичным излучением рентгеновской трубки образца. Интенсивность характеристической линии элемента тем больше, чем выше концентрация этого элемента в образце.

Спектральные области породных образцов характеризуются присутствием железа, кобальта, кальция, и ослабленным фоном рассеянного излучения. Спектральные области углей характеризуются незначительными включениями железа, кальция и большим фоном рассеянного излучения.

В табл. 1 приведены энергетические уровни и длины волн для присутствующих элементов в спектрах углей [1, 3].

По выбранному алгоритму (2) и указанным порогам была произведена сортировка углей на три продукта в режиме ручной подачи кускового материала в зону облучения и регистрации характеристического рентгеновского излучения (ХРИ) сепаратора. Граница разделения от 0-1 соответствовала низкзолному продукту $A^d \geq 6$ % (концентрат), от 1-2 промпродукту (сростки) с $A^d \geq 20$ %, а более 2 хвостам (порода) с $A^d \geq 50$ %.

Таблица 1. Энергетические уровни и длины волн основных элементов, входящих в углесодержащие формации

Длина волны, нА	Химический элемент	Порядок отражения
1937	Fe	ka
1790	Co	ka
1756	Fe	kβ
1620	Co	kβ
1542	Cu	ka
1436	Zn	ka
1392	Cu	kβ
1341	Ga	ka
1295	Zn	kβ

На сепараторе СРФ-4-150 при прохождении кусков через зону облучения и регистрации измерено количество импульсов в спектральной области железа, а впоследствии выделена зольность каждого куска [3].



Рисунок 3. Рентгенорадиометрический сепаратор СРФ1-100Л разработки ООО «Радос»

Корреляционная зависимость вида $N_{4,5-7,5} = f(A^d)$ между интенсивностью импульсов ХРИ в области $N_{4,5-7,5}$ и зольностью A^d кусков приведенная на рис. 4, аппроксимируется полиномом первой степени $N_{4,5-7,5} = 126,3 A^d - 126,2$. Данная связь тесно коррелирована ($\eta = 0,97$), что подтверждает принципиальную возможность применения рентгено-радиометрического метода для предварительного обогащения высокозольных углей исследуемых месторождений.

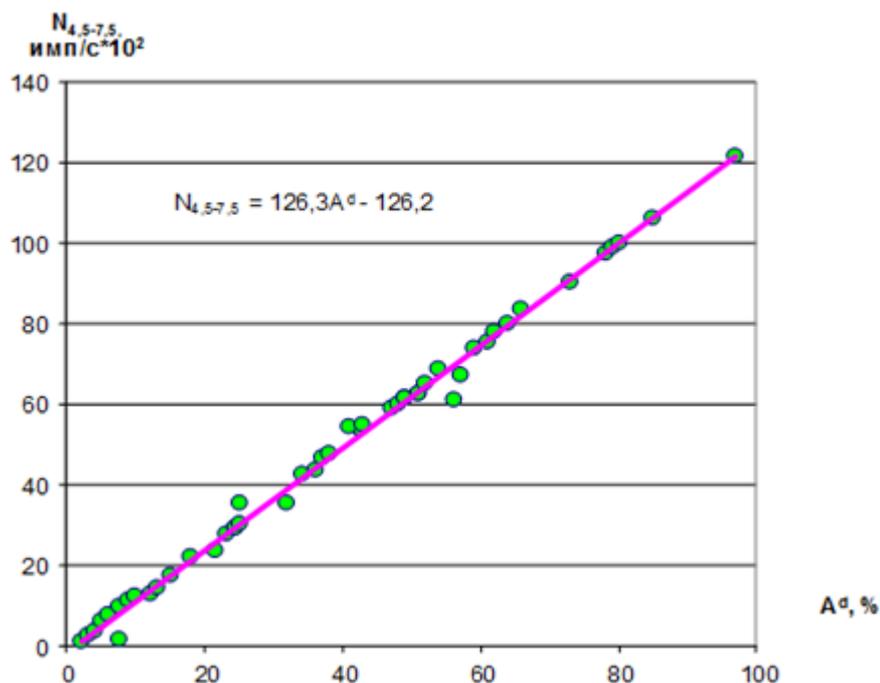


Рис. 4. Корреляционная зависимость и линия регрессии между интенсивностью импульсов ХРИ в диапазоне 4,5-7,5 кэВ и зольностью A^d кусков

ЛИТЕРАТУРА

1. Потапов В. В. Технология разработки месторождений угля с предварительным его обогащением в подземных условиях: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2007. 20 с.
2. Ржевский В. В., Новиков Г. Я. Основы физики горных пород. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Недра, 1978. 390 с.
3. Шемякин В. С., Цыпин Е. Ф., Федоров Ю. О., Скопов С. В. Теория и практика рентгено-радиометрического обогащения. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2013. 255 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОКСИТОВОГО ОСТАТКА В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТА ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ ШИХТЫ

ПИИРАЙНЕН В. Ю., БАРИНКОВ В. М.

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

Аннотация. Работа посвящена поиску эффективного способа переработки и использования красного шлама (КШ), отхода производства первичного алюминия, в качестве шихты для производства чугуна и стали. В настоящее время по всему миру этого техногенного отхода накоплено более 4 млрд. т. Отсутствие экономически приемлемых способов его переработки приводит к перманентному накоплению и необходимости складирования КШ в хранилищах открытого типа, что, в свою очередь, создаёт серьёзную опасность загрязнения окружающей среды, как через запыление воздушной атмосферы, так и путём попадания в грунты и подземные воды. Изучены существующие на сегодняшний день методы переработки и способы утилизации красных шламов, рассмотрены их преимущества и недостатки. Представлены технологии, позволяющие выделять железо в ценный продукт. Определен оптимальный состав шламово-торфяной шихты для получения чугуна и стали.

Ключевые слова: красный шлам, извлечение металлов, остаток боксита, оксиды железа, переработка отходов, алюминиевое производство.

USE OF BAUXITE RESIDUE AS A COMPONENT OF IRON-ORE CHARGE

PIIRAINEN V. Yu., BARINKOV V. M.

Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg

Abstract. This paper is dedicated to finding an effective way to recycle and use red mud (primary aluminium production waste – RM) as a charge material for pig iron and steel production. At present more than 4 billion tons of this anthropogenic waste has been accumulated all over the world. The lack of economically acceptable methods of its processing leads to the constant accumulation. The need to store RM in open mud collectors, in turn, creates a serious risk of environmental pollution, both through dust pollution of the air atmosphere and through its release into the ground and groundwater. The presently available methods of recycling and utilization of red mud are studied, their advantages and disadvantages are discussed. Technologies that extract iron into a valuable product are presented. The optimum composition of the sludge-peat charge for pig iron and steel production is determined.

Keywords: red mud, metal extraction, bauxite residue, iron oxides, waste recycling, aluminum production.

Количество промышленных предприятий в мире непрерывно растёт, начиная с 60-х годов XVIII в. Одним из основных этапов создания нового, либо реконструкции действующего производства, является изучение факторов негативного влияния отходов на окружающую среду и изыскание путей по снижению или исключению этого воздействия.

На сегодняшний день множество промышленных компаний находятся в поисках решения экологических проблем своего производства, при этом постоянно растущее давление со стороны сообщества, вынуждает прибегать к более дорогостоящим мероприятиям по охране окружающей среды. Не является исключением алюминиевая промышлен-

ность, которая напрямую связана с урбанизацией и индустриализацией современного общества.

Выпуск алюминиевой продукции устойчиво востребован и продолжает расти (Рис 1.) [1], при этом с точки зрения вредных выбросов производства, это одна из самых грязных отраслей металлургии. Так при производстве одной тонны первичного алюминия образуется около полутора тонн красного шлама [2], который является трудно утилизируемым отходом и представляет опасность для людей и окружающей среды.

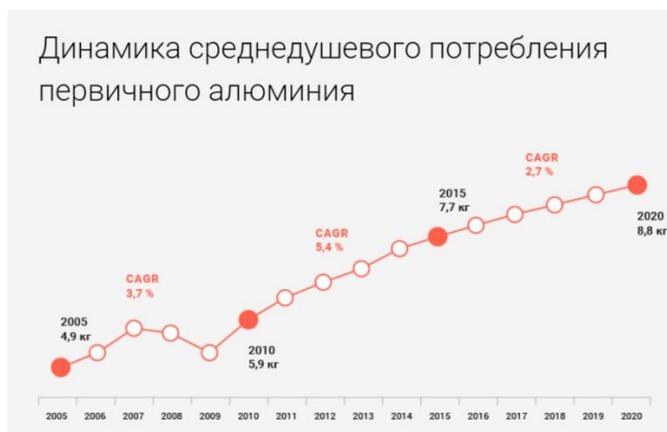


Рис. 1. Среднее количество потребления алюминия на одного человека (кг) по итогам 2020 г. [1]

Огромные мировые накопления красного шлама складываются, как правило, в шламохранилищах открытого типа, высотой 30–50 м, занимающих 50–100 га земли и вмещающих десятки миллионов тонн высоковлажного (60–90 %) тонкодисперсного и пластичного материала [3]. Основные потенциальные угрозы, которые несет красный шлам связаны с его высокой токсичностью и щелочной активностью, что создаёт проблемы его непосредственного применения без деактивации, которая с точки зрения затрат на её проведение, делает использование этого материала нецелесообразным для дальнейшего передела.

Вместе с тем, красный шлам является ценным исходным сырьём для извлечения из него таких металлов как железо, алюминий, титан и других, включая редкоземельные, в связи с чем поиски оптимального решения вышеизложенной дилеммы продолжают до сегодняшнего дня [4].

Актуальность такого поиска обострена участившимися авариями на шламохранилищах в различных странах, ущерб от которых имеет огромные масштабы из-за затопления и загрязнения близлежащих к разрушенным хранилищам территорий, и уничтожения флоры и фауны на ней, период восстановления которых может исчисляться десятилетиями [5]. Поэтому поиск решений по использованию КШ для дальнейшего передела является приоритетным направлением для мировых компаний-производителей алюминия.

Изучением возможностей переработки и утилизации красного шлама, способов его деактивации, а также методов извлечения из него редкоземельных элементов и железа занимаются многие научные организации в нашей стране, среди них: Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», институт химии твердого тела Уральского отделения РАН, Санкт-Петербургский горный университет, АО «ИТЦ РУСАЛ ВАМИ» и другие. Среди зарубежных, следует отметить: Мичиганский технологический университет (США), Рейнско-Вестфальский технический университет (Германия), Юго-Западный университет науки и технологии (г. Маньян, Китай), Северо-восточный государственный университет (г. Шэньян, Китай), Национальный технический университет Афин (Греция), Национальную академию наук Азербайджана и другие.

В настоящее время в мире насчитывается 84 глиноземных завода, нарабатывающих красный шлам [6]. На большинстве этих заводов по-прежнему используется процесс Байера, за некоторыми исключениями, где используются альтернативные процессы (Иран, Китай) [7].

Утилизация красного шлама – один из ключевых проблемных вопросов в процессе извлечения алюминия из глинозема. Из 3,6 т глинозема производится только 1 т металла. Остальные 2,6 т – техногенный отход. В связи с образованием такого большого количества красного шлама и необходимости его длительного хранения возникает риск экологических проблем. В тоже время по своему химическому составу красный шлам является ценным сырьевым материалом, в связи с чем необходим поиск оптимальной, эффективной и экономически выгодной его утилизации или переработки, что является *целью* данного исследования.

Поскольку содержание железа в красном шламе велико, его извлечение непосредственно в цикле производства может существенно снизить общее количество выгружаемых отходов. В некоторых случаях оксиды железа составляют половину состава красного шлама, что делает его перспективным сырьем для получения ценного железосодержащего продукта.

Следует также понимать, что поиск альтернативного железосодержащего сырья для предприятий черной металлургии имеет важное экономическое значение, с точки зрения их устойчивого развития, так как в настоящее время получение чугуна и стали преимущественно основано на доменном производстве из железной руды – природного источника ресурса.

В связи с этим любые изыскания дополнительных источников важнейшего стратегического сырья, являются крайне актуальными.

Известно, что количество гематита (Fe_2O_3) в красном шламе позволяет провести прямое восстановление железа (табл. 1) [8]. Полученный полупродукт может быть использован в качестве шихты для выплавки чугуна и стали. Уравнения ниже описывают процесс восстановления железа [9].

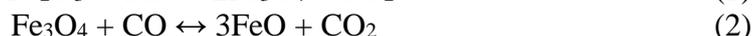


Таблица 1. Фазовый состав исходного красного шлама [8]

Фаза	Структурная формула (идеализированная)	Содержание (% вес.)	Погрешность
Гематит	Fe_2O_3	53,8	0,5
Гранат	$R^{2+}_3 R^{3+}_2 [SiO_4]_3$ (R^{2+} – Mg, Fe, Mn, Ca; R^{3+} – Al, Fe, Cr) [2*]	13,8	0,3
Канкринит	$Na_6 Ca[CO_3](AlSiO_4)_6 \cdot 2H_2O$	13,2	0,4
Хлорит (шамозит)	$Fe_4Al_2[Si_2Al_2O_{10}](OH)_8$	8,4	0,3
Слюда (мусковит, 3Т)	$KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$	4,2	0,5
Кальцит	$CaCO_3$	2,0	0,2
Анатаз	TiO_2	1,9	0,2
Кристобалит	SiO_2	0,6	0,2

Восстановленное железо можно отделять методом низкоинтенсивной магнитной сепарации [10]. Было установлено, что содержание железа в красном шламе можно повысить с 32,87% до 65,93%, выдерживая отход при температуре 1150 °С в течение 60 минут. Процент отделенного железа после магнитной сепарации может составить 61,85 %.

Проведенное аналогичное исследование позволило отделить железо от красного шлама путем его восстановления в атмосфере, таких газов как СО и Н₂. В работе [11] для выделения магнетита также воспользовались магнитной сепарацией, что позволило эффективно снизить содержание железа в красном шламе на 43%.

Известен еще один метод извлечения железа из красного шлама, который включает в себя получение «самовосстанавливающихся» окатышей, содержащих восстановитель (уголь, кокс), и обжига их при температурах выше 1400 °С. При этих температурах происходит восстановление железа из окислов [7].

Несмотря на преимущества пирометаллургического метода по количеству извлечения железа, существуют такие трудности как отверждение и сушка красного шлама. Фильтрация отхода является решением этих проблем, но все осложняется большими энергетическими и экономическими затратами при ее выполнении. Таким образом, преимущества и недостатки рассмотренных методов необходимо учитывать при разработке методики проведения дальнейших экспериментальных исследований.

Был выполнен анализ частоты проводимых исследований, посвященных утилизации и переработке отхода глиноземного производства за последние 100 лет, в результате которого выявлена тенденция увеличения количества работ направленных на решение задачи повторного использования красного шлама [12]. Экономическая нецелесообразность является весомым аргументом отсутствия универсального решения переработки отхода из-за большого потребления энергии. Для решения этой проблемы и достижения положительного эффекта в промышленных масштабах стоит обратить внимание на исследования, посвященные переработке КШ в сырье для вторичного производства. Разработка методики дальнейших исследований проводилась с учетом преимуществ и недостатков рассмотренных выше методов.

В ходе исследований, в качестве железосодержащего компонента шихты был взят красный шлам Уральского алюминиевого завода (УАЗ), состав которого представлен в таблице 2 [13].

Таблица 2. Химический состав красного шлама [13]

Окислы (% мас.)	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	SO ₂	P ₂ O ₃	Na ₂ O
Среднее	42,3	10,6	10,1	14,0	0,9	4,4	1,3	0,31	4,2
Мин.–макс.	42-55	8-13	5-15	14-17	0,5-1,4	2-5	до 2	0,2-0,5	до 4

В качестве восстановителя и углесодержащего компонента разрабатываемой шихты был применен верховой торф Заозерского месторождения. Выбор типа торфа обусловлен его кислотными свойствами (рН = 2,6–4,5), которые позволяют нейтрализовать щелочной КШ.

Таблица 3. Состав элементов неорганической части торфа [13]

Окислы, мас. %	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	P ₂ O ₃
Среднее	<u>1,02</u>	<u>0,18</u>	<u>0,21</u>	<u>0,54</u>	<u>0,07</u>
Мин.–макс.	<u>0,19 – 7,15</u>	<u>0 – 2,47</u>	<u>0,02 – 0,74</u>	<u>0 – 3,23</u>	<u>0 – 0,56</u>

Исследование по восстановлению железа было проведено на образцах с различным содержанием компонентов в шихте. Образцы подготовлены путем добавление железосо-

держашего компонента в торф из-за того, что влажность последнего составляла более 80%. Образованное пастообразное состояние смеси было доведено до однородности с последующими показателями рН от 6,8 до 7,3. В последующем были сформированы окатыши диаметром 10 (мм) для термической обработки (рис. 2).



Рис. 2. Естественная сушка полученных гранул (составлено авторами)

При выборе окончательного соотношения компонентов шихты также учитывались показатели образцов на крошимость (краш-тест) после предварительной сушки в течение 48 часов. Установлено, что при рН смеси ниже 6.0 и выше 8.0 образцы имели прочность, не позволяющую их к дальнейшему применению.

Отвержденные образцы помещались в лабораторную печь прокаливания (Тор 100 + С440, Nabertherm), где подвергались различным режимам термической обработки, представленным в табл. 4.

Таблица 4. Исходные данные экспериментов [13]

Номер образца	Масса компонентов смеси, кг			Режим обработки**
	Торф	Красный шлам	Массовое соотношение*	
1	0,120	0,040	3:1	1000 °С в течение 1 ч
2	0,110	0,110	1:1	1000 °С в течение 1 ч
3	0,075	0,015	5:1	700 °С в течение 1 ч
4	0,360	0,132	3:1	560 °С в течение 1 ч

* соотношение масс определялась выбранным диапазоном кислотности исследуемых материалов

**

– нижний предел – температура начала интенсивного восстановления железа, согласно теории А. А. Байкова;

– верхний предел – оптимальная температура технологического процесса.

Были полученные магнитные порошки черного цвета, которые исследовались на химический состав микрорентгеноспектральным анализом. В табл. 5 представлены выборочные данные:

Таблица 5. Химический состав фаз исследуемых образцов, вес % (составлено авторами)

	Метка спектра*	C	O	Na	Al	Ti	Fe	Всего
Образец 1	Спектр 1	5.56	20.99	3.28	3.59	0.84	63.74	100.00
	Спектр 5	16.18	7.78	1.21	1.60	0.62	70.77	100.00
	Спектр 9	6.25	24.38	3.57	3.81	0.73	59.22	100.00
Образец 2	Спектр 21	3.43	18.32	3.95	3.06	0.35	68.58	100.00
	Спектр 25	7.99	29.76	5.12	3.31	0.67	49.87	100.00
	Спектр 29	11.54	19.37	1.70	2.48	1.44	61.78	100.00
Образец 3	Спектр 34	3.33	0.83	0.53	0.62	0.53	93.23	100.00
	Спектр 35	22.97	14.65	2.32	2.46	2.16	50.36	100.00
Образец 4	Спектр 39	3.75	0.99	0.23	0.40	1.27	92.70	100.00
	Спектр 42	13.81	35.25	2.94	3.69	1.33	39.32	100.00
	Спектр 46	12.56	39.03		1.44	0.30	44.99	100.00

*Приведены данные с учетом максимальной информативности и наглядности

По результатам исследования установлено:

- 1) Низкое содержание в смеси торфа (образец 2), не позволяет обеспечить существенного восстановления оксидов.
- 2) Обнаруженные вкрапления практически чистого железа (образец 3), подтверждают протекание процесса углетермического восстановления при невысоких температурах (560 °С).
- 3) Присутствие железа в отдельных фазах составляет 93%, что подтверждает возможности использования шламово-торфяных окатышей для получения чугуна и стали.
- 4) Степень нейтрализации шламово-торфяной смеси имеет влияние на прочностную характеристику образцов. Прочность обуславливает производственные свойства получаемых гранул относительно производства.

Выбранный метод применения бокситового остатка в качестве компонента железорудной шихты нуждается в дальнейших исследованиях, с целью установления оптимальных технологических параметров в области температур термодинамической неустойчивости оксидов железа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Brook-Hunt, WorldBank, ОКРУСАЛ [Электронныйресурс]. Режим доступа: https://www.aluminas.ru/aluminum/in_the_world, (Дата обращения: 10.02.2023)
2. Zinoveev D, Petelin A, Grudinsky P, Zakunov A, Dyubanov V. Extraction of Iron from Russian Red Mud by a Carbothermic Reduction and Magnetic Separation Process. *Materials Proceedings*. 2021; 3(1):23. <https://doi.org/10.3390/IEC2M-09247>
3. Khalifa A. E., Bazhin V. Y., Kuskova Y. V., Abdel-rahim A. M., Yasser M. Z. Ahmed. Study the recycling of redmud in iron ore sintering process // *Journal of Ecological Engineering*. 2021 Vol. 22 P. 191–201.
4. Vind J., Malfliet A., Blanpain B, Tsakiridis P. E., Tkaczyk A. H., Vassiliadou V., Papias D. Rare Earth Element Phases in Bauxite Residue. *Minerals*. 2018; 8(2):77. <https://doi.org/10.3390/min802007>

5. Трушко В. Л., Утков В. А., Бажин В. Ю. Актуальность и возможности полной переработки красных шламов глиноземного производства // Записки Горного института. 2017. Т. 227. 547. <https://doi.org/10.25515/pmi.2017.5.547>
6. Patel S., Pal B. K. Current Status of an Industrial Waste: Red Mud an Overview // International Journal of Latest Technology in Engineering, Management and Applied Science. 2015. 4, 8.
7. Archambo M. S., Kawatra S. K. Red mud: fundamentals and new avenues for utilization // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 2020 Vol. 42. P. 427–450.
8. Ширяева Е. В. Исследование влияния добавки красного шлама на фазовый состав агломерата с целью повышения его прочностных характеристик: автореф. дис. ... канд. техн. наук (05.16.02). М., 2015. 125 с.
9. Anameric B., Kawatra S. K. Properties and features of direct reduced iron // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 2007. Vol. 28 (1). P. 9–116.
10. Sadangi J. K., Das S. P., Tripathy A., Biswal S. K. Investigation into recovery of iron values from red mud dumps // Separation Science and Technology. 2018. Vol. 53, Iss. 14. P. 2186–2191.
11. A. Akcil, N. Akhmediyeva, R. Abdulvaliyev, and M. P. Abhilash, Overview on extraction and separation of rare earth elements from red mud: Focus on scandium // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 2018. Vol. 39. P. 145–51.
12. Зиновьев Д. В., П. И. Грудинский, Дюбанов В. Г., Коваленко Л. В., Леонтьев Л. И. Обзор мировой практики переработки красных шламов. Ч. 1. Пирометаллургические способы // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2018. Т. 61. № 11. С. 843–858.
13. Piirainen V. Y., Mikhailov A. V., Barinkov V. M., Starovoitov V. N. The use of sludge-peat composition for the processing of alumina production waste // Obogashchenie Rud. 2022. No. 6. P. 51–58. <https://doi.org/10.17580/or.2022.06.09>

ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АТОМНО-ЭМИССИОННОГО КОМПЛЕКСА «ГРАНД-ПОТОК» В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ НА ПРИМЕРЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВЯЗИ ЗОЛОТА С ТЕЛЛУРОМ

ВЛАСОВ И. А.^{1,2}, ПЕТРОВА Д. А.¹

¹Уральский государственный горный университет», Екатеринбург

²ООО «Первый горно-металлургический институт», Екатеринбург

Аннотация. Учитывая сложность выявления взаимосвязей золота при минералогическом анализе оптической и электронной микроскопией, технологической минералогии необходимо разрабатывать новые методы корреляции ценных элементов. Для выявления взаимосвязей элементов в ряде случаев может помочь атомно-эмиссионный спектральный анализатор «Гранд-Поток» со сцинтилляционным регистрированием. Применение комплекса быстро и с высокой долей достоверности выявило отсутствие взаимосвязи золота с теллуrom в хвостах выщелачивания.

Ключевые слова: атомно-эмиссионный спектрометр, технологическая минералогия, золото, теллур, хвосты обогащения.

APPLICATION OF THE POSSIBILITIES OF THE GRANT-POTOK ATOMIC EMIS- SION COMPLEX IN TECHNOLOGICAL MINERALOGY ON THE EXAMPLE OF DETERMINING THE RELATIONSHIP OF GOLD WITH TELLURIUM

VLASOV I. A.^{1,2}, PETROVA D. A.¹

¹Ural State Mining University, Ekaterinburg

²First Mining and Metallurgical Institute, Ekaterinburg

Abstract. The variability of the features of the interrelationships of gold in mineralogical analysis on optical and electron microscopy, technological mineralogy requires new methods for determining the interrelationships of valuable elements. Atomic emission spectral analyzer «Grand Potok» with scintillation registration can help to identify the relationships of elements in the presence. The use of a fast complex and with a high percentage of detection reveals the absence of the relationship of gold with tellurium in leach tailings.

Keywords: Atomic emission spectrometer, technological mineralogy, gold, tellurium, enrichment tailings.

При обогащении полезных ископаемых, практически неизбежно происходит потеря части ценного компонента с хвостами обогащения. Такого рода хвосты требуют тщательного изучения, с целью выявления причин, по которым ценный компонент не извлекается. Изучением продуктов обогащения занимается технологическая минералогия, в которой большинство задач решаются применением электронной и оптической микроскопии.

Сложность, при изучении хвостов обогащения, заключается в том, что зерна, содержащие ценный компонент, сложно обнаружить и достоверно диагностировать, особенно когда речь идет о таком полезном ископаемом как золото, размер зерен которого порой составляет менее 10 мкм, а содержание не превышает первых граммов на тонну.

На помощь специалистам, занимающимся технологической минералогией, может прийти аналитическое оборудование, применяемое для обнаружения малых концентраций вещества.

В качестве примера аналитического оборудования, которое способно регистрировать низкие содержания химических элементов является атомно-эмиссионный анализатор «Гранд-Поток»

Атомно-эмиссионный спектральный анализ на комплексе «Гранд-Поток» проводится следующим образом. Порошковая проба транспортерными лентами подается в камеру сгорания, где с помощью дугового разряда происходит возбуждение атомов вещества. Испускаемое атомами излучение раскладывается на спектр, поступает на детектор и регистрируются. Анализ положений и интенсивностей спектральных линий позволяет определить качественно-количественный состав пробы.

Особенностью анализа на установке «Гранд-Поток» является постепенная подача пробы и возможность записи сцинтилляционного излучения анализируемого компонента в различный момент времени. В графическом исполнении в момент попадания частицы в область анализа, на временном интервале можно увидеть резкое повышение интенсивности анализируемой линии. Графическое отображение пролета частицы изображено на рис. 1.

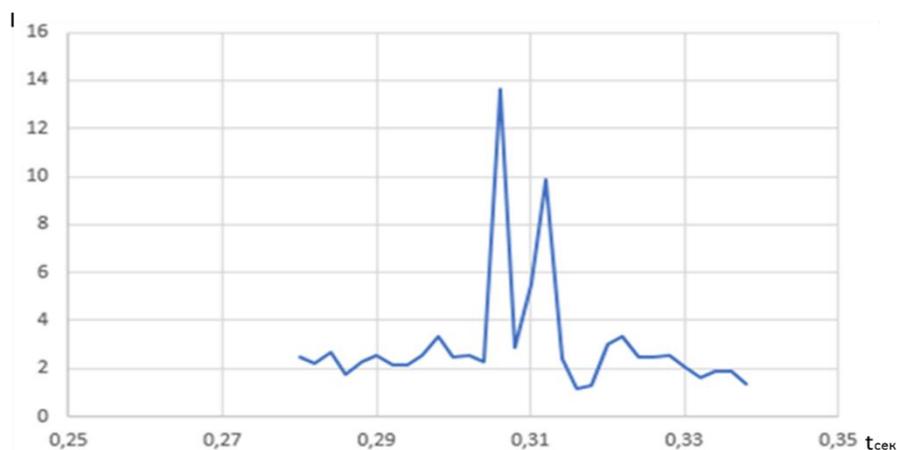


Рис. 1. Фрагмент временного графика, на котором запечатлено два повышения интенсивности спектральной линии

На графике вертикальная ось показывает интенсивность спектральной линии. Горизонтальная ось показывает временной интервал. Шаг измерения по времени составляет 0,002 с. Интенсивность фона спектральной линии элемента составляет порядка 3 единиц. В итоге на графике видно, что на 0,306 и 0,312 секунде анализа было зафиксировано два повышения интенсивности спектральной линии (вспышке), это означает, что в область анализа попали две частицы, содержащие определяемый компонент.

При наложении графиков интенсивностей линий различных элементов можно увидеть разного рода ситуации. Пример различных вариантов наложения графиков приведен на рис. 2, 3.

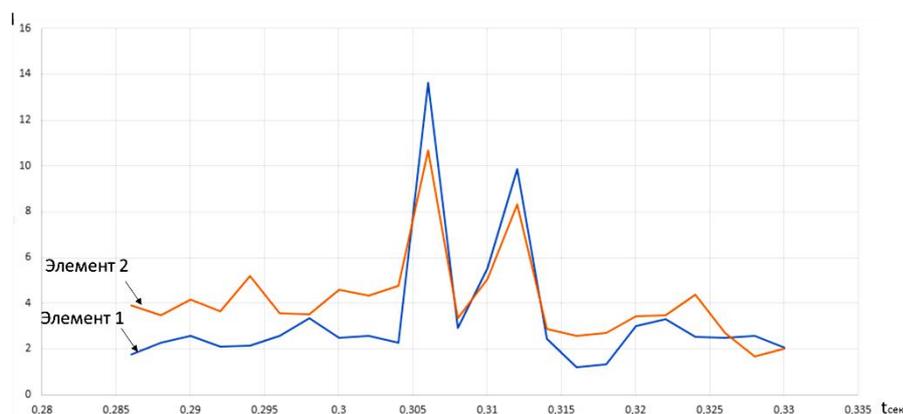


Рис. 2. Фрагмент временного графика, на котором запечатлено поведение характерных линий различных элементов при одновременном повышении интенсивностей

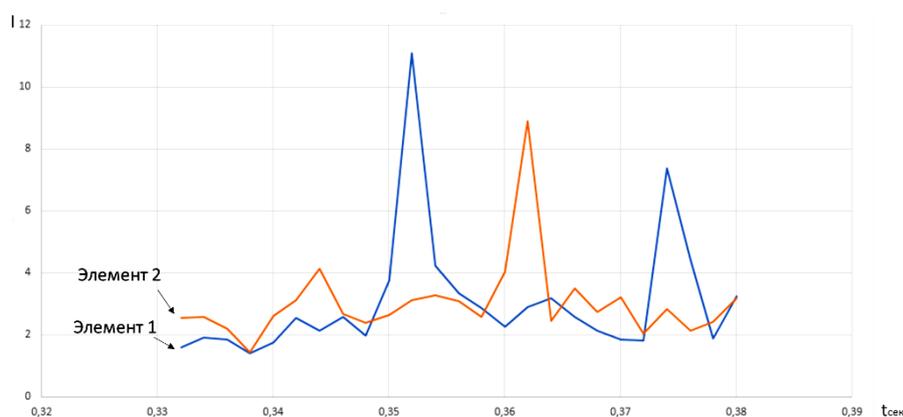


Рис. 3. Фрагмент временного графика, на котором запечатлено поведение характерных линий различных элементов при неодновременном повышении интенсивностей

При совпадении всплесков на графиках (рис. 2) различных элементов можно говорить о их связи между собой. При этом связь элементов может быть, как на атомарном уровне, например, оба элемента входят в состав одного минерального вида. Так и на уровне случайных совпадений, возникших из-за слипания различных частиц, содержащих определяемые элементы.

При несовпадении всплесков на графиках (рис. 3) можно однозначно утверждать, что элементы не связаны между собой.

Для апробации метода была выбрана золотосодержащая проба. Проба являлась хвостом выщелачивания гравитационного концентрата. Остаточное содержание золота в пробе составило порядка 5 г/т. В качестве основной версии высокого содержания золота в хвостах выщелачивания выдвигалось предположение о том, что золото в пробе химически связано с теллуrom. Подобного рода соединение могло присутствовать в пробе изначально или возникнуть в результате взаимодействия теллура с золотом в ходе выщелачивания.

Для определения взаимосвязи золота с теллуrom проба была проанализирована на атомно-эмиссионном спектрометре «Гранд-Поток» с записью всплесков золота и теллура на протяжении анализа. Для исключения случайных совпадений и подтверждения данных, анализ пробы проводился 5 раз, при длительности единичного записывания 16 с и шаге 0,02 с. Вид графиков, фиксирующих всплески линий золота и теллура, приведен на рис. 4–6.

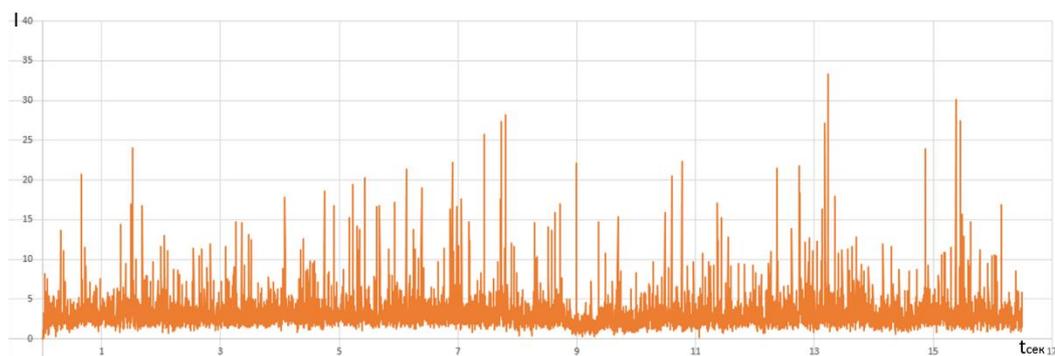


Рисунок 4. График фиксации повышения интенсивности линии золота при единичном накоплении данных

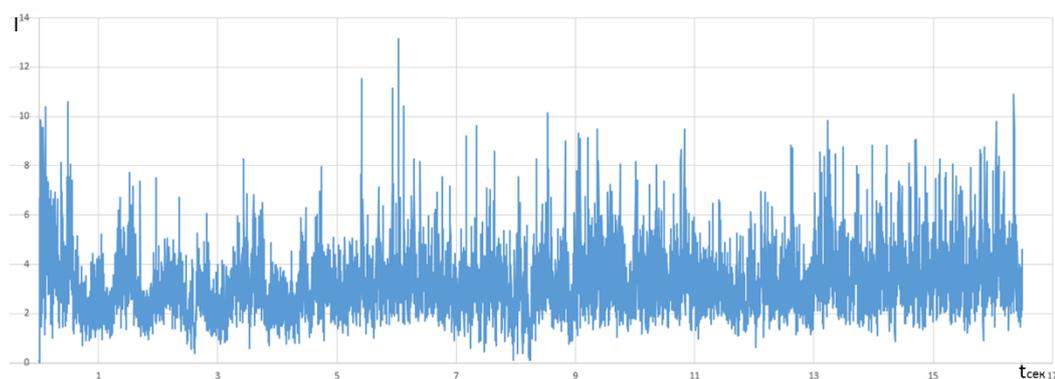


Рисунок 5. График фиксации повышения интенсивности линии теллур при единичном накоплении данных

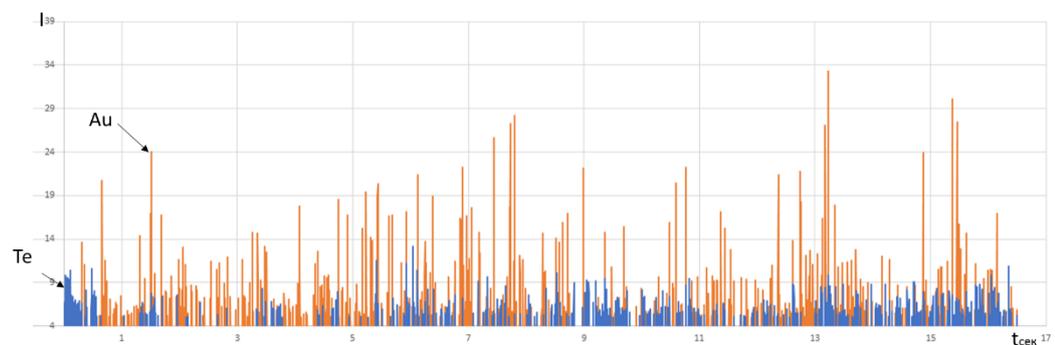


Рисунок 6. Сведение графиков фиксации повышения интенсивности линий, содержащих золото и теллур, с удалением фоновых значений

В результате при единичном накоплении данных фиксировалось более 8000 временных интервалов. В среднем в каждом накопленном спектре фиксировалось по 700 всплесков золота и теллура. При этом одновременные всплески золота и теллура, обнаруживается порядка 100 раз. Что составляет около 14 % от числа всех всплесков зерен как золота, так и теллура. Анализ одновременных всплесков золота и теллура не выявил достоверных корреляционных зависимостей.

Полученные данные измерений позволяют, с высокой долей достоверности, утверждать, что в пробе хвостов выщелачивания золото с теллуром не связано. Одновременные всплески спектральных линий золота и теллура, образовались в результате случайности, возникшей вследствие высокого количественного содержания зерен золота и теллура.

Анализ пробы методом атомно-эмиссионной спектроскопии с фиксацией изменения содержания элементов по времени, показал свою эффективность при выявлении взаимосвязи золота с теллуром для золотосодержащей пробы хвостов выщелачивания.

В качестве недостатков метода можно отметить неоднозначность результатов при совпадении графиков анализируемых компонентов. Совпадение графиков может указывать как на совместное нахождение элементов в составе одного зерна, так и на случайный одновременный пролет. При этом при больших содержаниях анализируемых элементов случайные наложения неизбежны.

В качестве достоинств метод стоит отметить:

- высокую скорость анализа (единичное измерение проводится за 16 с);
- высокую достоверность данных, при отсутствии совпадении графиков анализируемых элементов;
- на анализ требуется порядка 0,15 г пробы;
- анализ позволяет сравнивать и выявлять ассоциации широкого спектра элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дзюба А. А., Лабусов В. А., Васильева И. Е., Шабанова Е. В., Бабин С. А. Аналитические возможности спектрального комплекса «Гранд-Поток» при сцинтилляционном определении содержания золота и серебра в геологических пробах // Аналитика и контроль. 2017. Т. 21. № 1. С. 6–15.
2. Шибанова Е. В., Бусько А. Е., Васильева И. Е. Дуговой сцинтилляционный атомно-эмиссионный анализ порошковых проб при использовании МАЭС с высоким временным разрешением // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2012. Т. 78. № 1-II. С. 24–33.
3. Лабусов В. А. Комплексы приборов для атомно-эмиссионного спектрального анализа на основе спектрометра «Гранд» // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2008. Т. 74. № 4. С. 21–29.
4. Бабин С. А. Быстродействующие анализаторы МАЭС на основе линеек БЛПП-2000 // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015. Т. 81. № 1-II. С. 108–113.
5. Васильева И. Е. Методика определения содержания золота и серебра в геологических образцах с использованием сцинтилляционного атомно-эмиссионного анализа с высоким временным разрешением // Аналитика и контроль. 2010. Т. 14. № 4. С. 201–213.
6. Райхбаум Я. Д., Стахеев Ю. И. Сцинтилляционный спектральный метод минералогического анализа // Аналитическая химия. 1965. Т. 20. № 3. С. 299–304.
7. Семенов З. В. Алгоритм обработки последовательностей спектров для сцинтилляционного атомно-эмиссионного спектрального анализа // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015. Т. 81. № 1-II. С. 135–142.
8. Васильева И. Е. Изучение гранулометрического состава порошков стандартных образцов природных сред // Стандартные образцы. 2015. № 1. С. 39–49.
9. Шибанова Е. В. Оценка размера частиц золота и серебра в геологических образцах с использованием сцинтилляционного атомно-эмиссионного анализа с высоким временным разрешением // Аналитика и контроль. 2010. Т. 14. № 4. С. 186–200.
10. Прокопчук С. И. Сцинтилляционный спектральный анализ в геологии. Иркутск: Институт геохимии СО РАН, 1994. 64 с.

УДК. 622.33

**ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ВНЕДРЕНИЯ ВИНТОВЫХ
КОМПРЕССОРОВ НА ШАХТЕ**

УГОЛЬНИКОВ А. В., ПОТАПОВ В. Я., ЮРКОВА Е. И., ПАРАМОНОВА А. А.,
УГОЛЬНИКОВА А. Е.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

Аннотация. Произведена экономическая оценка винтовых компрессоров находящихся в эксплуатации на горном предприятии. Расчет осуществлялся по минимальные предельно допустимые утечки сжатого воздуха обусловленные негерметичностью пневматической сети, а так же снижением стоимости электроэнергии, расходуемой на привод компрессоров, что сказывается на итоговой себестоимости добываемой руды.

Ключевые слова: Винтовой компрессор, объемные потери, сжатый воздух, пневматическая сеть, стоимость электроэнергии, экономический эффект.

**ASSESSMENT OF THE ECONOMIC EFFECT OF THE INTRODUCTION OF SCREW
COMPRESSORS AT THE MINE**

UGOL'NIKOV A. V., POTAPOV V. Ya., YURKOVA E. I., PARAMONOVA A. A.,
UGOL'NIKOVA A. E.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

Abstract. An economic assessment of screw compressors in operation at the mining enterprise has been made. The calculation was carried out according to the minimum maximum permissible leaks of compressed air due to the leakiness of the pneumatic network, as well as a reduction in the cost of electricity consumed to drive the compressors, which affects the final cost of the extracted ore.

Keywords: Screw compressor, volume losses, compressed air, pneumatic network, cost of electricity, economic effect.

Винтовые компрессоры, установленные на гор. –740 м шахты 14-14 бис и находящиеся в эксплуатации уменьшают объемные потери энергии, связанные с утечками сжатого воздуха, обусловленные негерметичностью пневматической сети, а так же снижают стоимость электроэнергии, расходуемой на привод компрессоров [1].

Для расчета принимаем минимальные предельно допустимые утечки сжатого воздуха в сети в размере 30 % от номинальной производительности компрессора, установленного на поверхности в помещении компрессорной станции. Это означает, что для получения 70 м³/мин (производительность двух винтовых компрессоров 6ВВ-32/7) в шахте на гор. –740 м, требуется 100 м³/мин (производительность поршневого компрессора 4ВМ10-100/8), получаемых на компрессорной станции.

Кроме этого внедрение винтовых компрессоров 6ВВ-32/7 на шахте 14-14 бис гор. – 740 м, уменьшает стоимость потребляемой электроэнергии, как за счет мощности, так и за счет изменения схемы электроснабжения для питания приводов компрессоров со среднего напряжения (6–35 кВ) на высокое (110 кВ) [2].

С учетом вышеизложенного, приводится расчет годовой стоимости электроэнергии на производство сжатого воздуха по двум вариантам.

1. Производство сжатого воздуха поршневым компрессором 4ВМ10-100/8, установленным в компрессорной станции и питанием от линии среднего напряжения (СН).

2. Производство сжатого воздуха двумя винтовыми компрессорами 6ВВ-32/7, установленными под землей на гор. –740 м шахты 14-14 бис и питаемыми от линии высокого напряжения (ВН).

Годовая стоимость электроэнергии по первому варианту:

$$A_1 = c_{w1}W_1 + c_{p1}P_1 \cdot 12 \quad (1)$$

где c_{w1} – стоимость 1 кВт*ч электроэнергии, идущей от линии СН ($c_{w1} = 2,29$ руб/кВт*ч); c_{p1} – ставка за 1кВт установленной мощности при питании от линии СН в месяц ($c_{p1} = 1165,54$ руб/кВт); P_1 – установленная мощность электродвигателя компрессора 4ВМ10-100/8 ($P_1 = 630$ кВт); W_1 – годовой расход электроэнергии компрессором 4ВМ10-100/8;

$$W_1 = P_{n1} \cdot t \cdot T \quad (2)$$

где P_{n1} – фактическая мощность электродвигателя компрессора 4ВМ10-100/8 ($P_{n1} = 540$ кВт); t – число часов работы компрессора в сутки ($t = 20$); T – число рабочих дней в год ($T = 317$).

$$W_1 = 540 \cdot 20 \cdot 317 = 3\,423\,600 \text{ кВт*ч}$$

Тогда годовая стоимость электроэнергии на производство сжатого воздуха поршневым компрессором 4ВМ10-100/8 составит:

$$A_1 = 2,29 \cdot 3\,423\,600 + 1165,54 \cdot 630 \cdot 12 = 16\,651\,526,40 \text{ руб.}$$

Годовая стоимость электроэнергии по второму варианту:

$$A_2 = c_{w2}W_2 + c_{p2}P_2 \cdot 12 \quad (3)$$

где c_{w2} – стоимость 1 кВт*ч электроэнергии, идущей от линии ВН ($c_{w2} = 1,30$ коп/кВт*ч); c_{p2} – ставка за 1кВт установленной мощности при питании от линии ВН в месяц ($c_{p2} = 695,50$ руб/кВт); P_2 – установленная мощность электродвигателей двух винтовых компрессоров 6ВВ-32/7 ($P_2 = 2 \cdot 200 = 400$ кВт); W_2 – годовой расход электроэнергии компрессорами 6ВВ-32/7;

$$W_2 = P_{n2} \cdot t \cdot T \quad (4)$$

где P_{n2} – фактическая мощность электродвигателей компрессоров 6ВВ-32/7 ($P_{n2} = 2 \cdot 170 = 340$ кВт); t – число часов работы компрессора в сутки ($t = 20$); T – число рабочих дней в год ($T = 317$).

$$W_2 = 340 \cdot 20 \cdot 317 = 2\,155\,600 \text{ кВт*ч.}$$

Тогда годовая стоимость электроэнергии на производство сжатого воздуха двумя винтовыми компрессорами 6ВВ-32/7 составит:

$$A_2 = 1,3 * 2\,155\,600 + 695,50 * 400 * 12 = 6\,140\,680,0 \text{ руб.}$$

Отсюда экономический эффект от внедрения двух винтовых компрессоров на шахте 14-14 бис, гор. –740 м составит:

$$\mathcal{E} = A_1 - A_2 = 16\,651\,526,4 - 6\,140\,680,0 = 10\,510\,846,4 \text{ руб.}$$

Все расчеты выполнены без учета уплаты налога на добавленную стоимость (НДС). С учетом НДС (%) годовой экономический эффект от внедрения двух винтовых компрессоров на шахте 14-14 бис, гор. –740 м составит:

$$\mathcal{E}_{\text{НДС}} = \mathcal{E} * 1,2 = 10\,510\,846,4 * 1,2 = 12\,613\,015,68 \text{ руб.}$$

При расчете экономического эффекта использовалась методика учета годовой стоимости электроэнергии на производство сжатого воздуха по двум вариантам:

– производство сжатого воздуха поршневым компрессором 4ВМ10-100/8, установленным в компрессорной станции и питанием от линии среднего напряжения (СН).

– производство сжатого двумя винтовыми компрессорами 6ВВ-32/7, установленными под землей на гор. – 740 м. шахты 14-14 бис и питаемыми от линии высокого напряжения (ВН).

Экономический эффект от внедрения винтовых компрессоров на шахте 14-14 бис ОАО «Севуралбокситруда» составил 12613 тыс. руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оптимизация режимов работы рудничных пневматических сетей при транспортировании сжатого воздуха (реферат). 2008. 27 с.
2. Угольников А. В. Энергосбережение при транспортировании сжатого воздуха рудничных компрессорных установок // Материалы Уральской горнопромышленной декады. Екатеринбург, 2008. С. 283–285.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ ИЗНАШИВАНИЯ ФУТЕРОВКИ КОНУСНОЙ ДРОБИЛКИ

СМИРНОВ В. А., ЗАХАРОВ М. Ю., БОЧКОВ В. С.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

Аннотация. В статье рассмотрена проблема быстрого изнашивания оборудования различных конусных дробилок. Приведены и проанализированы различные способы уменьшения и защиты оборудования от изнашивания. Проанализирован способ внедрения специального датчика в устройство конусной дробилки для отслеживания и контроля изнашивания.

Ключевые слова: конусная дробилка, изнашивание, контроль, футеровка, датчик, диагностика, броня, модернизация.

AUTOMATED WEAR CONTROL OF CONE CRUSHER LINING

SMIRNOV V. A., ZAKHAROV M. YU., BOCHKOV V. S.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

Abstract. The article considers the problem of rapid wear of equipment of various cone crushers. Various ways of reducing and protecting equipment from wear are presented and analyzed. The method of introducing a special sensor into the device of a cone crusher for tracking and monitoring wear is analyzed.

Keywords: cone crusher, wear, control, lining, sensor, diagnostics, armor, modernization.

Введение

В настоящее время при дроблении горных пород применяются дробилки различных типов (щечковые, валковые, ударного действия). Однако конусные дробилки являются самым распространенным видом дробильного оборудования, используемого для дробильно-размольных работ.

Конусная дробилка представляет собой устройство для дробления твёрдых материалов методом раздавливания кусков между двумя коническими поверхностями [1]. При этом одна поверхность должна быть неподвижная, а другая совершать вращательное и сложное качательное движение.

Анализ основной проблемы эксплуатации конусных дробилок

Во время работы конусных дробилок на них приходится большая динамическая нагрузка. Это приводит к быстрому изнашиванию основных элементов. При ссыпании руды внутрь дробилки приводит к постоянным ударам о конические поверхности дробилки. Также постоянное истирание материала дробления между поверхностями приводит к медленной низкочастотной усталости материала дробилок.

Сильное изнашивание конусных дробилок приводят к повреждениям опорной чаши, что приводит к увеличению установленного зазора. Изменение размера разгрузочной щели подвергает предприятие к потере качества минерального сырья и, как следствие, к снижению коэффициента полезного действия (КПД) дробилки и появлению брака, что в перспективе приведет к потере прибыли.

Следовательно, материал конических поверхностей дробилки должен иметь как очень высокую прочность и ударную вязкость, чтобы выдерживать низкочастотную усталость и ударную нагрузку [2, 4].

Способы решения проблемы изнашивания

Существует несколько способов увеличения эксплуатации конусных дробилок:

- Обеспечивать постоянную работу конусной дробилки “под завалом”
- Ограничить высоту и скорость падения материала
- Удалить мелкий или липкий материал
- Использование легированной стали с высоким содержанием марганца

При эксплуатации дробильно-размольного оборудования возникает ударная нагрузка, резка и выдавливание конусной поверхности. Для уменьшения вредного воздействия рекомендуется использовать легированную сталь с высоким содержанием марганца HR/HC/68 и повышенной твердостью материала, из которой были изготовлены образцы футеровки с изменённой геометрией, которую разработали Специалистами комбината ОАО «Стойленский ГОК» и компанией «SANDVIK». Она обладает очень высокой прочностью и ударной вязкостью, чтобы выдерживать низкочастотную усталость и высокую ударную нагрузку. Данную броню ввели в эксплуатацию на ОАО «Стойленский ГОК», где данная модернизация брони принесла огромный экономический эффект предприятию, который составлял более 48 млн руб. в год [4].

Автоматизированный контроль состояния футеровочной поверхности

На сегодняшний день существует техническое решение по определению изнашивания футеровочной поверхности. Это целая группа датчиков, имеющая наименование **В02С25/00**. Устройства, специально предназначенные для контроля и регулирования работы дробящих и измельчающих машин и установок, применяемые к контрольно-диагностическому оборудованию для мониторинга функционирования систем, измельчающих твердые компоненты. Пример такого датчика изображен на (рис. 1), который состоит из: Корпусного элемента 3, в который есть возможность интеграции внутрь эластичного футеровочного материала, подвижный чувствительный элемент 4, конструкционно приспособленный к постоянному упору в направлении истираемой поверхности эластичного футеровочного материала за счет имеющегося упругого средства давления 5, и передаточный элемент 6. Диагностика производится за счёт анализа состояния футеровочного материала конструкции.

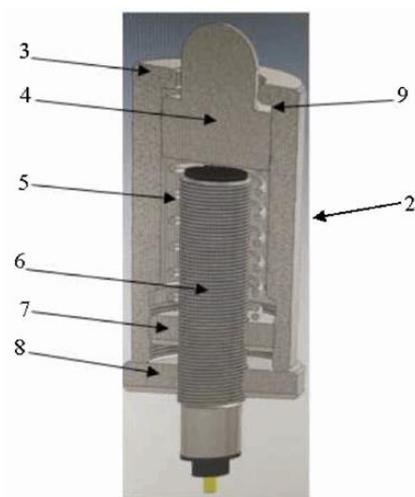


Рис. 1. Датчик измерения износа

Основной принцип работы заключается в том, что футеровочное покрытие делится на несколько уровней, в каждый из которых внедряют контрольный датчик, который из-

меряет осесимметричный прогиб эластичного футеровочного материала, но при этом должна быть известна сила. Дополнительно установлена камера над рабочей зоной, которая передает информацию для обработки на интеллектуальный сервер. Сам сервер уже на основании изображений сравнивает полученный результат с нормалью, которая задается изначально и выдает полученный результат.

Данная разработка имеет и некоторые нюансы, влияющие на точность результата. Так, например, интеллектуальный сервер в результате может давать погрешности из-за остаточных элементов, оседающей на конической поверхности дробилки. Также данное устройство достаточно сложно монтируется и настраивается, поэтому предприятию необходимо наличие персонала, специализирующегося на наладке данной системы. Под обслуживанием системы подразумевается интеграция, настройка и обновление программного обеспечения устройства [3].

Вывод

Расчёт скорости изнашивания футеровочной поверхности является актуальной задачей, так как в современных реалиях предприятия сталкиваются с большим расходом футеровочного материала. Путем внедрения специального датчика в футеровку конусной дробилки достигается контроль её толщины в режиме реального времени. Также, применение футеровки с повышенным содержанием марганца позволяет значительно увеличить износостойкость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комлев С. Г. Основы обогащения полезных ископаемых : учебное пособие / Уральский государственный горный университет. Екатеринбург : УГГУ, 2016. 172 с.
2. Гончаров А. Б. Восстановление износа опорной чаши конусной дробилки / А. Б. Гончаров, А. Б. Тулинов, В. А. Иванов. // Cyberleninka [Электронный ресурс]: Научная электронная библиотека «КиберЛенинка» / 2016. 7 с. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vosstanovlenie-iznosa-opornoy-chashi-konusnoy-drobilki?ysclid=ldbkd3ayur474617285>
3. Пат. 2779916. Рос. Федерация, МПК В 02 С25/00. Патентный поиск, поиск патентов на изобретения - FindPatent.RU 2012-2022: заявл. 29.09.2021: опубл. 15.09.2022 / Н. Ю. Овчаренко. 13 с. Режим доступа: <https://findpatent.ru/patent/277/2779916.html>
4. Терехин Е. П. Модернизация футеровочных броней конусных дробилок мелкого дробления/ Е. П. Терехин, Р. А. Тулинов // Cyberleninka [Электронный ресурс]: Научная электронная библиотека «КиберЛенинка» / 2019. 8 с. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/modernizatsiya-futerovochnyh-broney-konusnyh-drobilok-melkogo-drobleniya>
5. Цимин Машины. Анализ износа футеровки конусной дробилки на медном руднике / Цимин Машины // Qiming Machinery Тематические Исследования. 17.01.2020 г. <https://www.qimingmachinery.com/ru/%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%BE%D1%81-%D1%84%D1%83%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D0%B8-%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%83%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B9-%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D0%BA%D0%B8/>

КАВИТАЦИЯ КАК ОДНА ИЗ ПРИЧИН ИЗНОСА ШАХТНЫХ НАСОСОВ

ЮСУПОВ Т. И., УГОЛЬНИКОВ А. В.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

Аннотация: в статье представлены требования, предъявляемые к шахтным водоотливным установкам. Также авторы статьи акцентируют внимание на причинах ухудшения рабочих характеристик шахтных насосов. Авторы отмечают, что нередко встречаются случаи, когда насос изнашивается значительно быстрее, и через каждые 1–2 года, а иногда и чаще приходится производить его капитальный ремонт. Такой износ обычно вызывается кавитацией и абразивным воздействием твердых примесей, содержащихся в перекачиваемой жидкости, или совместным их действием.

Ключевые слова: шахтные водоотливные установки, центробежные насосы, кавитация, абразивное воздействие твердых примесей.

CAVITATION AS ONE OF THE CAUSES OF WEAR OF SHAFT PUMPS

YUSUPOV T. I., UGOL'NIKOV A. V.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

Abstract. The article presents the requirements for mine drainage installations. Also, the authors of the article focus on the reasons for the deterioration of the performance of shaft pumps. The authors note that there are often cases when the pump wears out much faster, and every 1–2 years, and sometimes more often, it is necessary to make major repairs. Such wear is usually caused by cavitation and abrasive action of solid impurities contained in the pumped liquid, or their combined action.

Keywords: mine drainage systems, centrifugal pumps, cavitation, abrasive effect of solid impurities.

Шахтная водоотливная установка играет весьма важную роль во всей цепи электромеханического хозяйства шахты. Поэтому к ней предъявляются следующие требования:

- надежность работы (отказ грозит затоплением всей шахты);
- экономичность (как показал опыт эксплуатации КПД установки значительно ниже заводских показателей).

Рабочий режим определяется характеристикой самого насоса и характеристикой сети. Эти две характеристики в процессе эксплуатации изменяются в худшую сторону [8; 10].

Характеристика шахтного насоса ухудшается по следующим причинам:

- переход в режим кавитации;
- посасывание воздуха;
- износ уплотнений на рабочих колесах;
- засорение рабочего колеса (особенно первого) инородными телами.

Ухудшение характеристики сети связано:

- с уменьшением проходного сечения трубопровода вследствие коррозии;

- заилением;
- неполным открытием обратного клапана на нагнетательном трубопроводе;
- неполным открытием задвижки на нагнетательном трубопроводе [10].

В рамках данной статьи хотелось бы рассмотреть кавитационные процессы, по причине которых ухудшается работа шахтных водоотливов. Итак, кавитация представляет собой процесс нарушения сплошности потока жидкости, который происходит в тех участках потока, где местное давление, понижаясь, достигает некоторого критического значения. Этот процесс сопровождается образованием большого количества пузырьков, наполненных преимущественно парами жидкости, а также газами, выделившимися из раствора. Образование пузырьков имеет много общего с кипением жидкости, в связи с чем эти два процесса часто отождествляют; а в качестве критического давления, при котором начинается кавитация, рассматривают давление насыщенных паров жидкости при данной температуре [8].

При нормальной работе насоса шахтного водоотлива в стационарном режиме минимальное абсолютное давление, возникающее в потоке в области входа в колесо, больше давления насыщенного пара перекачиваемой жидкости [5]. Малеев В.Б., Кудрявцев А. А. отмечают, что избыточный напор всасывания представляет собой запас энергии потока шахтной воды над энергией вскипания. В противном случае жидкость «вскипает», возникает явление кавитации, что резко изменяет напорную характеристику насоса. Запас энергии обуславливается определённым полем скорости на входе в рабочее колесо и потерями энергии в элементах всасывающего тракта [5].

Как отмечают Долганов А. В., Тимухин С. А., шахтные лопастные насосы являются весьма долговечными машинами и при нормальных условиях эксплуатации могут работать более 20–30 лет [4]. Однако в практике нередко встречаются случаи, когда насос изнашивается значительно быстрее, и через каждые 1–2 года, а иногда и чаще приходится производить его капитальный ремонт. Такой износ обычно вызывается кавитацией и абразивным воздействием твердых примесей, содержащихся в перекачиваемой жидкости, или совместным их действием. рабочего колеса с тыльной стороны А, внутренняя поверхность входного обода В и зазор уплотняющей кромки С. В зазоре развивается особая форма кавитации, так называемая щелевая, вызываемая местными отжимами потока, где создается дополнительное понижение давления [4].

В осевых насосах (рис. 2) кавитационные разрушения возникают на входном участке лопастей рабочего колеса с тыльной стороны А, на концах пера лопасти В, на нижней части поверхности сферической камеры рабочего колеса С, на торцах лопастей (щелевая кавитация) D и на поверхности втулки Е. Для снижения интенсивности щелевой кавитации рекомендуется округлять торцевые кромки лопасти (деталь II) или устраивать концевое ребро (деталь I), рис. 2.1. Места наиболее интенсивного износа центробежных насосов А, В, С – кавитационного; а, b – абразивного. Если перекачиваемая насосом жидкость (вода) содержит твердые частицы, то они оказывают абразивное (изнашивающее) воздействие на элементы насоса. Величина абразивного износа, как видно из приведенной формулы (1), в основном зависит от содержания в воде шламов, относительной скорости в насосе и показателя абразивной изнашиваемости материала [2, 3, 4].

По мнению Долганова А. В. и Тимухина С. А., в центробежных насосах (см. рис. 1) наиболее интенсивному абразивному износу подвергаются лопасти рабочего колеса у входной кромки а и на выходном участке b с рабочей стороны. Попадание твердых частиц приводит к быстрому износу (разработке) уплотняющих зазоров [4].

В осевых насосах (см. рис. 2) наиболее интенсивному абразивному износу подвергаются входные кромки а и выходные участки b лопастей рабочего колеса с рабочей стороны, а также лопатки выправляющего аппарата е [4].

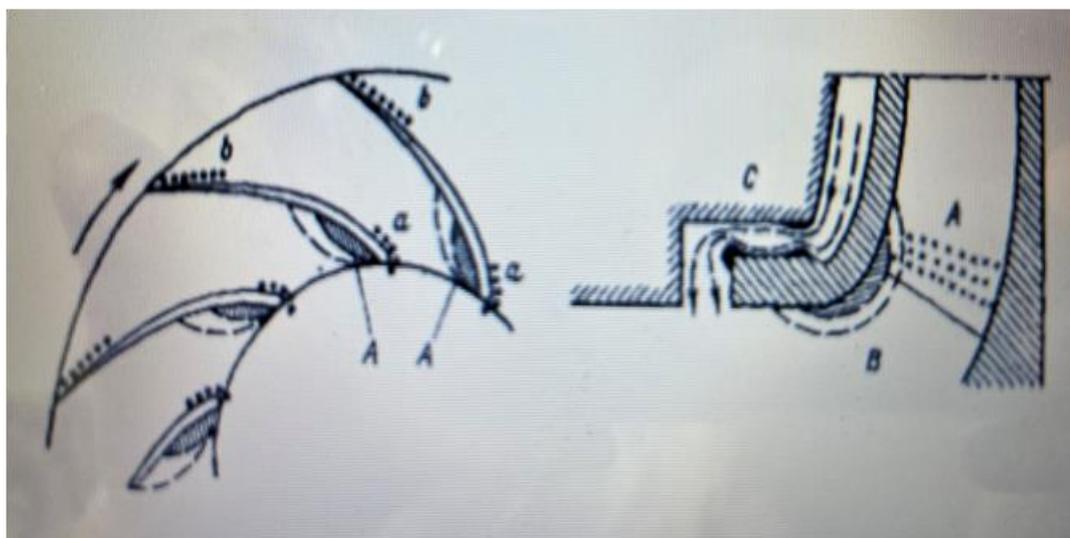


Рис. 1. Места наиболее интенсивного износа центробежных насосов:
A, B, C – кавитационного; *a, b* – абразивного

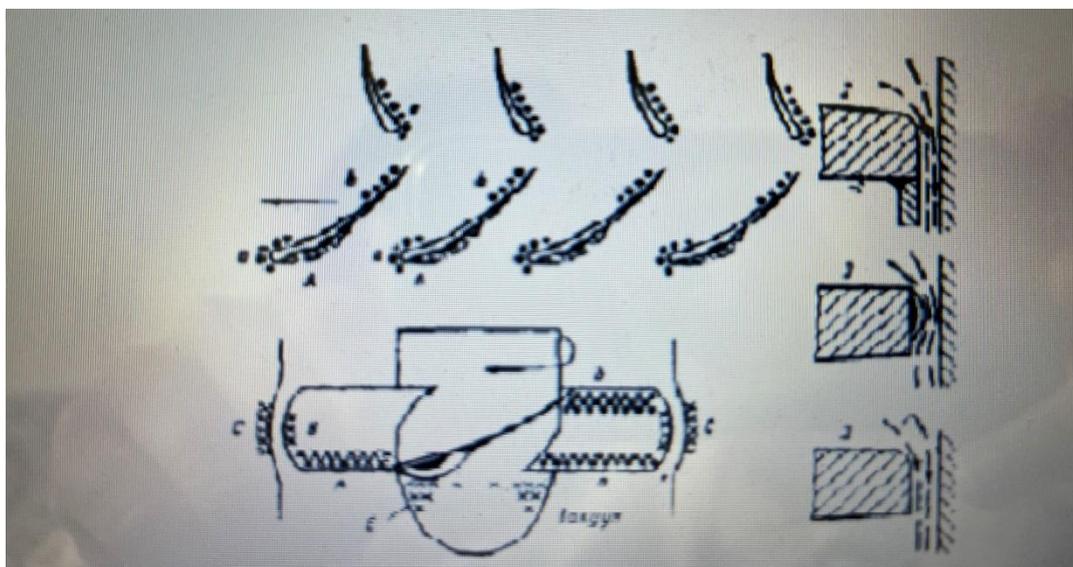


Рис. 2 Места наиболее интенсивного износа осевых насосов A, B, C, D:
E – кавитационного; *a, b, e* – абразивного

Мы разделяем мнение Т. Н. Паламарчук, которая в качестве наиболее эффективного способа защиты от кавитации, повышения надежности и снижения энергоемкости, рассматривает каскадный способ регулирования режимов совместной работы шахтных насосных установок, основанный на селективном подборе насосов с разными сборками сменных деталей проточной части и индивидуально подобранными рабочими характеристиками [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Гейер В. Г., Тимошенко Г. М. Шахтные вентиляторные и водоотливные установки. М.: Недра, 1987. 229 с.
2. Долганов А. В. Анализ электропотребления водоотливных установок подземных рудников медноколчеданных месторождений Южного Урала // Горное оборудование и электромеханика. 2011. № 2. С. 39–41.

3. Долганов А. В. Повышение энергоэффективности при эксплуатации комплексов шахтного водоотлива // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). М.: Горная книга, 2019. S9. С. 16–23.
4. Долганов А. В., Тимухин С. А. Гидроабразивный износ насосов рудничного водоотлива: научная монография. М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2016. 180 с.
5. Малеев В. Б., Кудрявцев А. А. Кавитация в насосах шахтного водоотлива в пусковом режиме // Горная энергомеханика и автоматика: материалы XXI Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию ДонНТУ. Донецк, 2021. С. 43–49.
6. Паламарчук Т. Н. Кавитационные режимы шахтных насосов при положительной и отрицательной высоте всасывания // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. Вып. 4. 2017. С. 99–110.
7. Паламарчук Т. Н. Обоснование бескавитационных режимных параметров насосного оборудования водоотливных комплексов угольных шахт: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Тула: Тул. гос. ун-т, 2019. 16 с.
8. Рудник В. П. Преобразователь характеристики центробежного насоса. Киев: «Будівельник», 1970. 112 с.
9. Щербина Г. С. Горный англо-русский словарь. Новокузнецк: Изд-во Сибирского государственного индустриального университета, 2014.
10. <http://masters.donntu.ru/2009/fema/samokhina/diss/index.htm>

УДК 622:504.55

ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШЛАМОВЫХ ГРУНТОВ

КОЛОГРИВКО А. А., КУЗЬМИЧ В. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск

Аннотация. Представлены модельные исследования параметров угла внутреннего трения и сцепления шламовых грунтов отработанного шламохранилища № 3 первого рудоуправления ОАО «Беларуськалий» в горно-геологической информационной системе Micromine Origin&Beyond.

Ключевые слова: шламохранилище, прочностные характеристики грунтов, ГГИС Micromine.

STRENGTH CHARACTERISTICS OF SLUDGE SOILS

KOLOGRIVKO A. A., KUZMICH V. A.

Belarusian National Technical University, Minsk

Abstract. The model studies of the parameters of the angle of internal friction and adhesion of sludge soils of the spent sludge storage No. 3 of the first mine management of Belaruskali OJSC in the mining and geological information system Micromine Origin&Beyond are presented.

Keywords: sludge storage, strength characteristics of soils, GIS (mining and geological information system) Micromine.

Предприятие ОАО «Беларуськалий» одно из крупнейших мировых производителей минеральных удобрений работает на базах Старобинского (Минская область) и Петриковского (Гомельская область) месторождений калийных солей. В состав предприятия входят семь действующих рудников и пять обогатительных фабрик. Строится восьмой рудник. Процесс и организация развития производства влекут за собой рост объемов галитовых и шламовых отходов обогащения, что требует отвод дополнительных площадей под складирование. При этом, системный отвод новых площадей сдерживается не своевременным решением экологических проблем, связанных с процессом складирования отходов, восстановлением территорий, подвергшихся вредному влиянию горных и земляных работ [1].

В условиях отсутствия резерва площадей под складирование эффективным решением является реализация технологий складирования способом гидронамыва на отработанные шламохранилища с одновременным расширением возможностей складирования на эксплуатируемые солеотвалы [2].

Так, анализ развития работ в условиях первого рудоуправления (1РУ), включая многолетний опыт исследований, показывает, что наиболее оптимальным является высотное складирование галитовых отходов со строительством конвейерного уклона из галитовых отходов на отработанном шламохранилище № 3.

Шламохранилище № 3 1РУ расположено севернее промплощадки рудоуправления. На западе оно примыкает к автодороге 1РУ ведущая ко второму рудоуправлению, на востоке – к отработанному шламохранилищу № 2 1РУ, на севере – к солеотвалу 1РУ (рис. 1). По ложу и дамбам шламохранилища уложен однослойный пленочный противофильтрационный экран с защитным слоем из супесчаного грунта толщиной 0,5 м. Шламохранилище заполнено глинисто-солевыми шламами, представляющие слабое основание с позиции складирования на них галитовых отходов. Глинисто-солевые шламы подавались гидротранспортом по трубопроводам и сбрасывались по подводным выпускам, расположенным на верховых откосах ограждающих дамб.



**Рис. 1. Расположение отработанного шламохранилища № 3 1РУ
ОАО «Беларуськалий»**

В связи с важностью безопасного складирования на слабом основании, представляющего глинисто-солевые шламы, в процессе исследований проведен анализ прочностных характеристик шламовых грунтов отработанного шламохранилища № 3 в горно-геологической информационной системе Micromine Origin&Beyond [3].

Основой для построения блочной модели шламовых грунтов стали лабораторные данные проб из 13 пробуренных в шламах скважин в интервале глубин от 8 до 15 м. Произведено 37 экспериментов на образцах ненарушенной структуры. Сцепление и угол внутреннего трения определялись методом одноплоскостного сдвига (среза) по схеме неконсолидированного сдвига при нормальных давлениях 0,25; 0,50 и 0,75 кгс/см². Графики изменения по глубине шламохранилища усредненных показателей угла внутреннего трения и сцепления представлены на рисунках 2 и 3.

Значения угла внутреннего трения в построенной трехмерной модели тела шламов изменяются в пределах от 0 до 16,01°. Интервалу каждого значения угла внутреннего трения присвоен свой цвет палитры (рис. 4). Процентное распределение угла внутреннего трения по трехмерной модели шламов представлено на рис. 5.



Рис. 2. График изменения по глубине шламохранилища № 3 усредненных показателей угла внутреннего трения шламовых грунтов

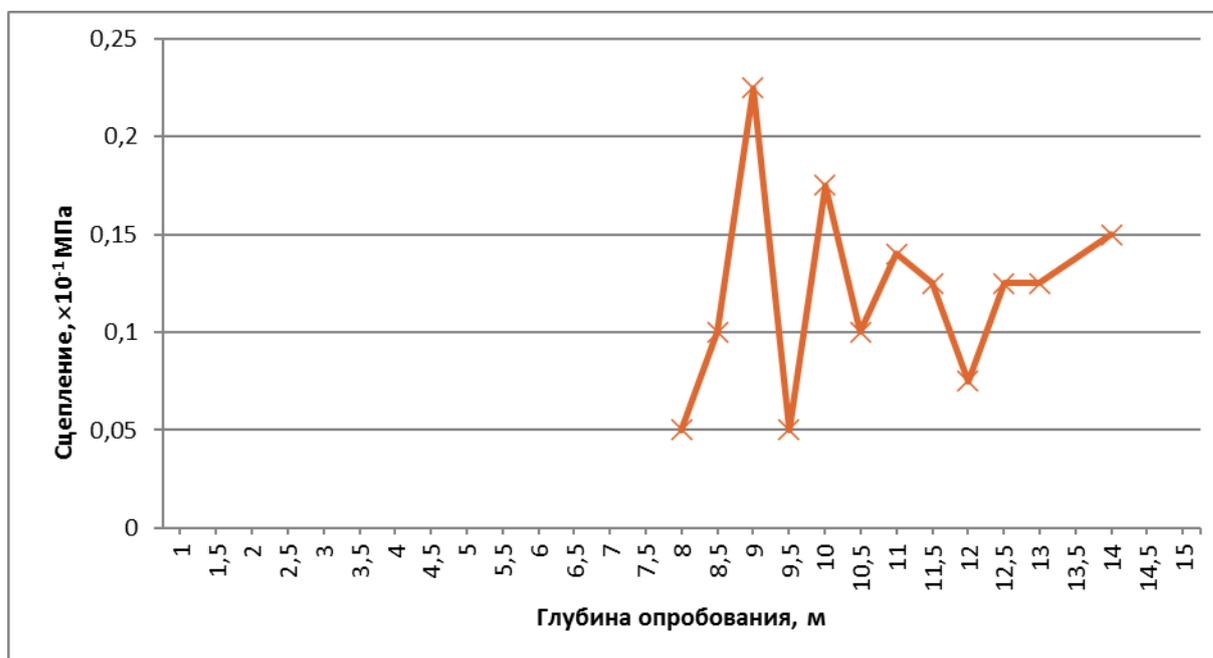


Рис. 3. График изменения по глубине шламохранилища № 3 усредненных показателей сцепления шламовых грунтов

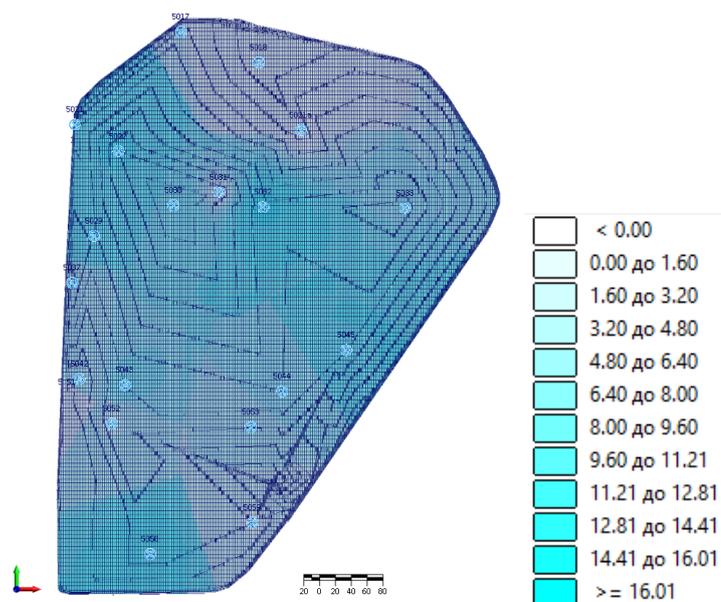


Рис. 4. Модель распределения угла внутреннего трения по телу шламов

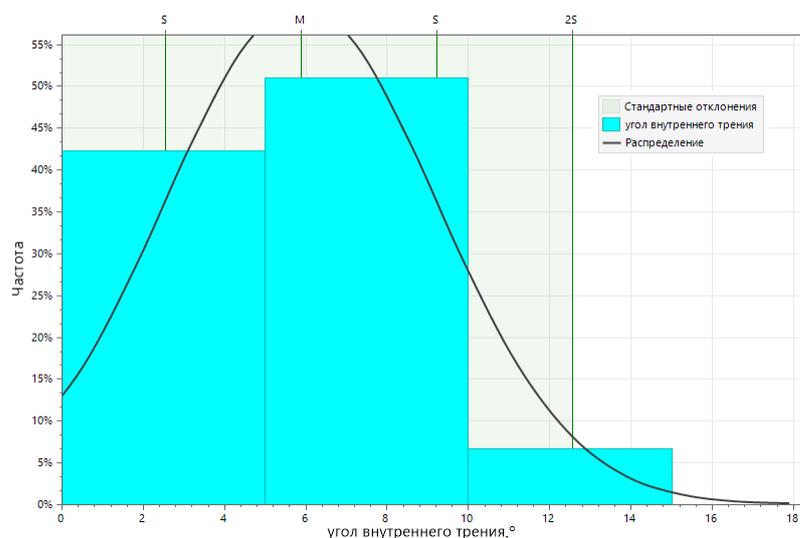


Рис. 5. Процентное распределение угла внутреннего трения в построенной трехмерной модели тела шламов

Значения показателей сцепления в построенной трехмерной модели тела шламов изменяются в пределах от 0,00 до 0,18 кгс/см² (0,018 МПа). Интервалу каждого значения сцепления присвоен свой цвет палитры (рис. 6). Процентное распределение показателя сцепления по построенной трехмерной модели тела шламов представлено на рис. 7.

Анализ значений параметров угла внутреннего трения и сцепления в горно-геологической информационной системе Micromine Origin&Beyond демонстрирует неравномерное их распределение по телу шламов и низкие прочностные характеристики шламовых грунтов шламохранилища № 3, что требует дальнейших исследований и сравнения с аналогами в целях информативности получения параметров безопасного производства гидронамыва на отработанное шламохранилище.

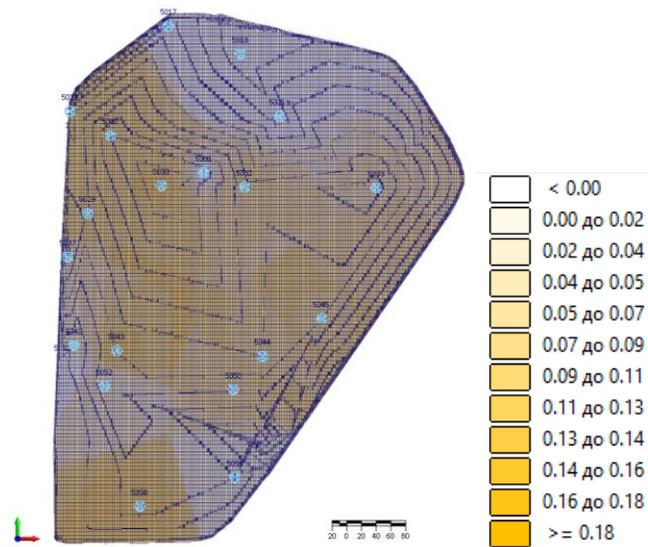


Рис. 6. Модель распределения сцепления по слоям

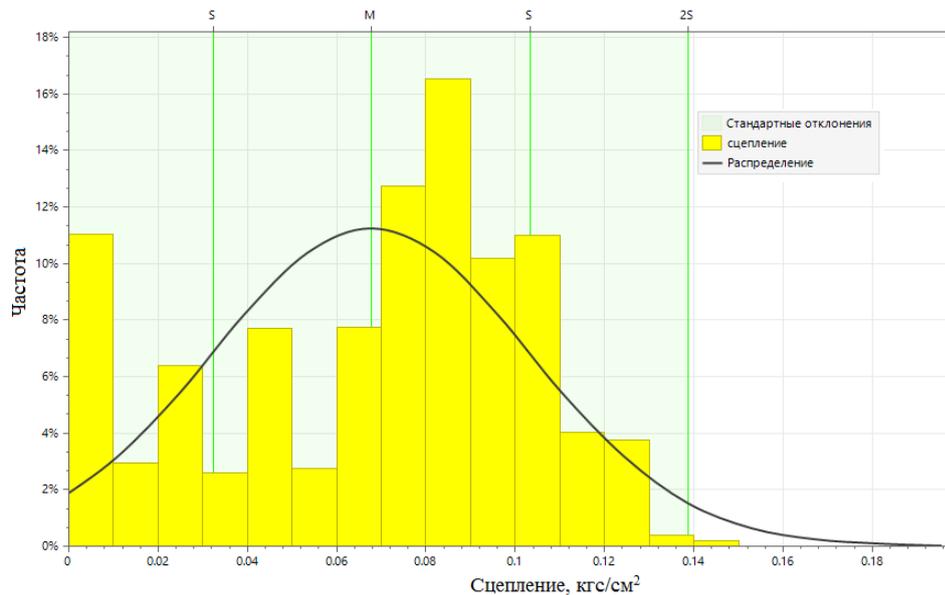


Рис. 7. Процентное распределение показателя сцепления в построенной трехмерной модели тела шламов

ЛИТЕРАТУРА

1. Шемет С. Ф., Кологривко А. А. Снижение геоэкологических последствий при подземной разработке калийных месторождений // Горный журнал. 2015. № 5. С. 100–104.
2. Борзаковский Б. А. Технология гидронамыва солеотвала на калийных предприятиях Верхнекамья // Сб. статей Горного информационно-аналитического бюллетеня. М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2006. № 1. –С. 191–195.
3. Федотов Г. С., Курцев Б. В., Янбеков А. М., Умаров А. Р. Создание блочной геомеханической модели района Северомуйского тоннеля в ГГИС Micromine Origin&Beyond // Горный журнал. 2023. № 1. С. 64–68.

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ПРОЧНОСТИ НЕСУЩЕГО СЛОЯ ЗАКЛАДОЧНОЙ СМЕСИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПРОЦЕССА ОРГАНИЗАЦИИ ЗАКЛАДОЧНЫХ РАБОТ

БЕЛОНОГОВА В. А., КОТЕНКОВ А. В.

Научно-исследовательский и проектный институт ОАО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург

Аннотация. При выемке запасов руды системами разработки с твердеющей закладкой после выемки запасов камер приступают к заполнению выработанного пространства твердеющими смесями. Закладочные смеси в выработанное пространство камер подаются по трубопроводам. Для обеспечения подачи закладки по трубопроводам готовится пульпообразная смесь материалов с добавлением необходимого количества воды.

Для предотвращения проникновения закладки в горные выработки, а также дренажа и отвода воды из закладочной смеси возле камер возводят изолирующие перемычки, которые должны выдержать давление закладочной смеси. Как правило, формирование закладки в камерах для снижения давления смеси на изолирующую перемычку осуществляется слоями толщиной 1–1,2 м, чтобы гидростатическое давление смеси не превысило несущей способности перемычки. При послойном формировании закладочного массива в выработанном пространстве камер используется закладочная смесь прочностью 5 МПа. Если подавать закладку в камеру непрерывно без остановок, получая при этом монолитный (неслоистый) закладочный массив, то геомеханические требования к прочности закладочного массива в камерах могут быть снижены до 3 МПа. Это позволяет сократить расход цемента на приготовление закладочной смеси. В докладе рассмотрена экономическая эффективность сокращения расхода цемента для приготовления закладочной смеси при снижении прочности несущего слоя до 3 МПа с учетом дополнительных затрат на возведение усиленной железобетонной перемычки вместо бетонной.

Ключевые слова: закладка, толщина слоев закладки, непрерывная заливка, несущий слой, прочность, железобетонная перемычка, бетонная перемычка, цемент.

SUBSTANTIATION OF THE POSSIBILITY OF REDUCING THE STRENGTH OF THE BEARING LAYER OF THE FILLING MIXTURE WHEN CHANGING THE PROCESS OF ORGANIZING BACKFILLING OPERATIONS

BELONOGOVA V. A., KOTENKOV A. V.

Research and Design Institute OJSC «Uralmekhanobr», Eekaterinburg

Abstract. When ore reserves are mined by mining systems with a hardening backfill, after the chamber reserves are extracted, the mined-out space is filled with hardening mixtures. Stowing mixtures are fed into the worked-out space of the chambers through pipelines. To ensure the supply of filling through pipelines, a pulp-like mixture of materials is prepared with the addition of the required amount of water. To prevent backfill penetration into mine workings, as well as drainage and water removal from the backfill mixture, insulating bridges are erected near the chambers, which must withstand the pressure of the backfill mixture. As a rule, the formation of backfill in chambers to reduce the pressure of the mixture on the insulating bulkhead is carried out in layers 1–1,2 meters thick so that the hydrostatic pressure of the mixture does not exceed the bearing capacity of the bulkhead. During the layer-by-layer formation of backfill mass in the mined-out space of the chambers, a backfill mixture with a strength of 5 MPa is used.

If the backfill is fed into the chamber continuously without stops, while obtaining a monolithic (non-layered) backfill mass, then the geomechanical requirements for the strength of the backfill

mass in the chambers can be reduced to 3 MPa. This reduces the consumption of cement for the preparation of the filling mixture.

The report considers the economic efficiency of reducing the consumption of cement for the preparation of the backfill mixture while reducing the strength of the carrier layer to 3 MPa, taking into account the additional costs for the construction of a reinforced concrete lintel instead of a concrete one.

Keywords: backfill, backfill layer thickness, continuous pouring, load-bearing layer, strength, reinforced concrete cofferdam, concrete cofferdam, cement.

При выемке запасов руды системами разработки с твердеющей закладкой после выемки запасов камер приступают к заполнению выработанного пространства твердеющими смесями. Закладочные смеси в выработанное пространство камер подаются по трубопроводам. Для обеспечения подачи закладки по трубопроводам приготавливается пульпообразная смесь материалов с добавлением необходимого количества воды.

Для предотвращения проникновения закладки в горные выработки, а также дренажа и отвода воды из закладочной смеси возле камер возводят изолирующие перемышки, которые должны выдержать давление закладочной смеси.

Давление закладочной смеси на перемышку можно регулировать толщиной слоя закладки, укладываемой за один прием.

Как правило, формирование закладки в камерах для снижения давления смеси на изолирующую перемышку осуществляется слоями толщиной 1–1,2 м, чтобы гидростатическое давление смеси не превысило несущей способности перемышки. При послойном формировании закладочного массива в выработанном пространстве камер используется закладочная смесь прочностью 5 МПа. Таким образом, в камерах формируется так называемый «несущий слой» из закладки повышенной прочности, под защитой которого в последующем осуществляется выемка руды под созданным закладочным (бетонным) массивом.

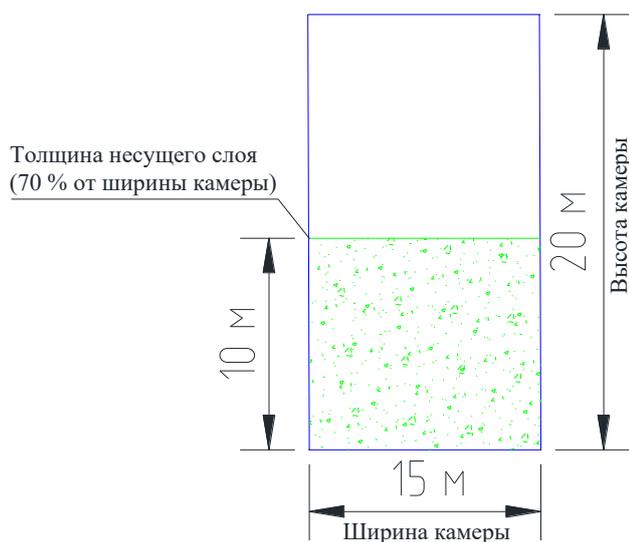


Рис. 4. Схема закладки выработанного пространства камеры

Если подавать закладку в камеру непрерывно без остановок, получая при этом монолитный (неслоистый) закладочный массив, то геомеханические требования к прочности закладочного массива в камерах могут быть снижены до 3 МПа. Это позволяет сократить расход цемента на приготовление закладочной смеси.

Давление закладочной смеси на перемышку можно регулировать толщиной слоя закладки, укладываемой за один прием.

Параметры перемышки зависят от давления закладочного материала на её конструкцию.

Методика расчёта прочности закладочной смеси зависит от толщины укладываемых слоев закладки. Если увеличивать их толщину, то можно снизить требования к прочности закладочной смеси. Но при этом возникает необходимость установки усиленной перемышки.

Расчет минимально возможной прочности закладки в камерах в зависимости от толщины слоев рассматривается и рассчитывается в соответствии с «Нормативной прочностью несущего слоя закладки...».

Результаты расчётов требований к прочности несущего слоя в камерах представлены в табл. 1.

Таблица 1. Требования к прочности несущего слоя в камерах шириной 15 м

Толщина несущего слоя закладки в камере, м	Прочность несущего слоя закладки в камере, МПа
1,0	12,5
2,0	10,5
3,0	8,5
4,0	6,5
5,0	5,5
6,0	4,5
7,0	4,0
8,0	3,5
9,0	3,5
10,0	3,0

Из данных табл. 1 можно сделать вывод: чем толще несущий слой, укладываемый в камеру непрерывно, тем меньше необходима прочность закладки в камере. Если несущий слой толщиной 10 метров укладывать непрерывно, то можно снизить прочность несущего слоя закладки с 5 МПа до 3 МПа. Это позволяет сократить расход цемента на приготовление закладочной смеси.

Состав закладочных смесей на прочности 3 и 5 МПа при соотношении шлака с известняком 60:40 представлено в табл. 2.

Таблица 2. Расход компонентов для приготовления закладочной смеси

Нормативная прочность, МПа	Расход компонентов, кг/м ³			
	Цемент	Шлак гранулированный	Известняк	Вода шахтная
3	100	860	580	465
5	155	820	545	470

Толщина бетонной перемышки при формировании закладки слоями толщиной около 1 м при прочности 5 МПа составляет 0,5 м, установка арматурных стержней не требуется.

На рис. 1 показано, что давление на перемышку в кровле и в почве выработки значительно различается в зависимости от толщины непрерывно заливаемого слоя закладки. Давление на кровельную и почвенную части перемышки со стороны закладочного массива представлены в табл. 2 в соответствии с «Расчетом железобетонной перемышки...».

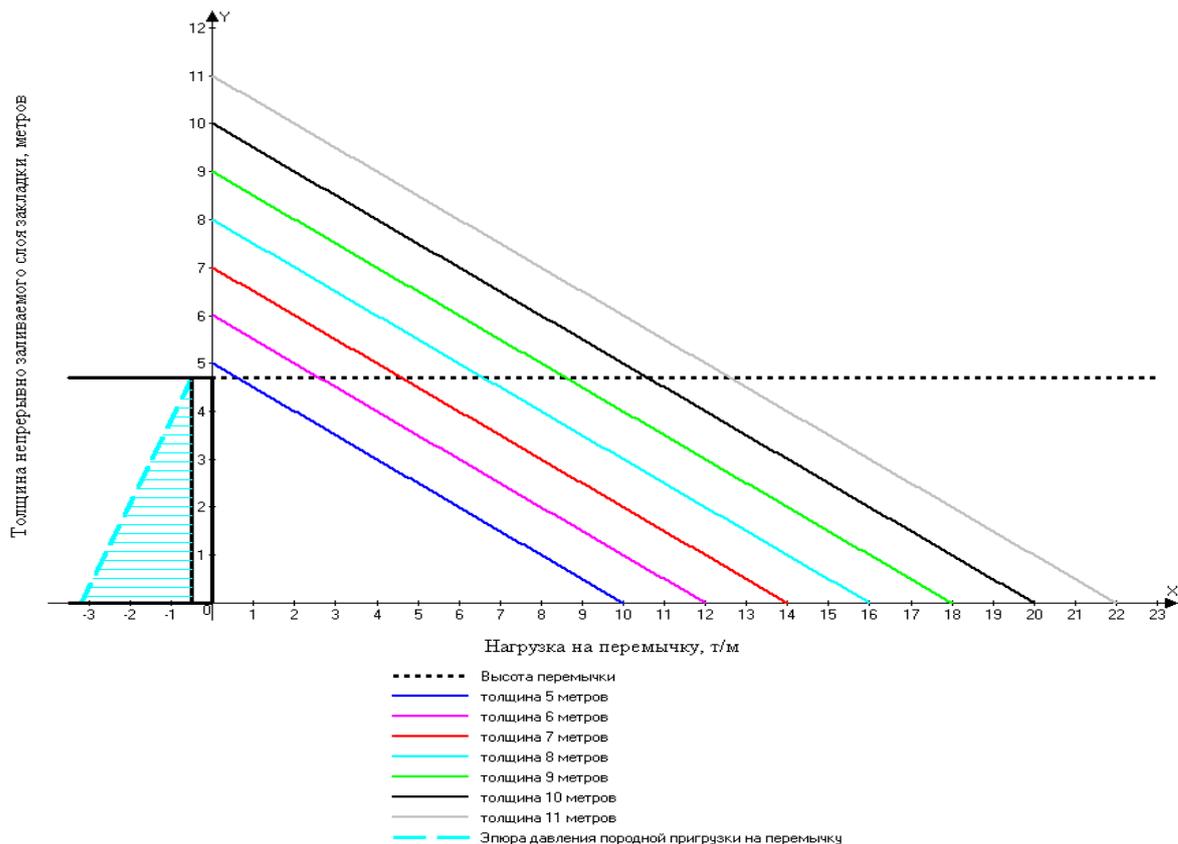


Рисунок 5. Эпюры давления закладки на рассчитываемую перемычку

Таблица 2. Величина нагрузки на кровельную и почвенную части перемычки в зависимости от толщины непрерывно заливаемого слоя закладки

Толщина непрерывно заливаемого слоя закладки, м	Давление на почвенную часть перемычки, т/м ²	Давление на кровельную часть перемычки, т/м ²
5	10,0	0,6
6	12,0	2,6
7	14,0	4,6
8	16,0	6,6
9	18,0	8,6
10	20,0	10,6

Из рис. 2 и табл. 2 видно, чем больше толщина слоя непрерывно подаваемой закладки, тем больше идет давление на почвенную и кровельную часть перемычки. Поэтому чтобы обеспечить безаварийную закладку и не разрушить перемычку следует ужесточить требования к конструкции перемычки. Становится необходимым сооружение железобетонной перемычки.

Помимо армирования перемычки арматурой, требуется ее закрепление по контуру в стенки и кровлю выработки.

Расчет железобетонных конструкций произведен в соответствии с «Расчетом железобетонной перемычки...». Результаты расчета ж/б перемычки представлены в табл. 3, па-

раметры армирования перемычки при заделке по стенкам и кровле выработки представлены в табл. 4.

Таблица 3. Результаты расчета ж/б перемычки из бетона В20 с шагом арматуры 200 x 200 мм при толщине слоя закладки 10 м

Толщина непрерывно заливаемого слоя закладки, метров	Максимальный изгибающий момент M_{\max} , тс · м	Максимальная поперечная нагрузка Q_{\max} , тс · м	Толщина перемычки, см	Армирование		Коэффициент использования несущей способности, доли ед.	Коэффициент использования по поперечной нагрузке, доли ед.
				Диаметр арматуры, мм	Шаг арматуры, мм		
10	13,4	20,6	50	16	200×200	0,89	0,90

Таблица 4. Параметры армирования перемычек с бетоном класса В20 при заделке по стенкам и кровле выработки при толщине непрерывного слоя 10 м

Толщина непрерывно заливаемого слоя закладки, м	Нагрузка от закладки, кг	Результирующая нагрузка, кг	Общая площадь армирования, см ²	Шаг установки анкеров, 0,5 м			
				Минимально допустимая площадь одного прутка арматуры, см ²	Диаметр арматуры, мм	Минимальная глубина анкеровки, см	Рекомендуемая глубина анкеровки, см
10	337977	313627	99,12	4,130	25	38	40

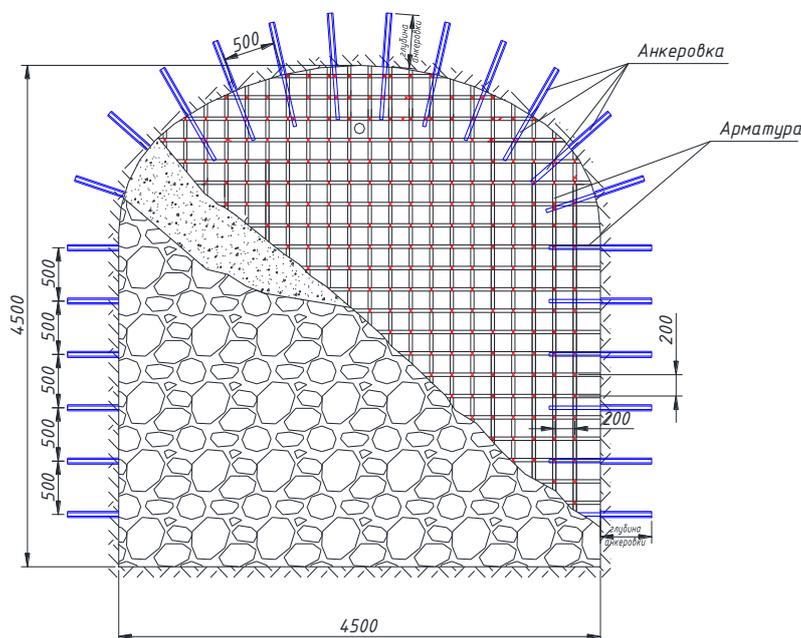


Рисунок 2. Конструкция железобетонной перемычки и ее конструктивные элементы при заделке по стенкам и кровле выработки с шагом 0,5 м

Экономическое обоснование предлагаемой организации ведения закладочных работ при непрерывной заливке камеры с возведением усиленной изолирующей перемычки представлено в табл. 5.

Таблица 5. Сравнение затрат на закладочные работы с использованием закладки прочности 3 и 5 МПа при создании несущего слоя закладки в камере

Наименование	3 МПа		5 МПа	
Параметры камеры				
Длина, м	40			
Ширина, м	15			
Толщина несущего слоя, м	10			
Цемент				
Цена за 1 т, руб	6 000			
Количество, кг/м ³	100		155	
Общий объем несущего слоя, м ³	6 000			
Сумма затрат на цемент, руб.	3 600 000		5 580 000	
Перемычка, тип	Железобетонная (усиленная)		Бетонная (облегченная)	
Арматура	Для армирования перемычки	Для заделки в стенке выработки	Не требуется	
Диаметр арматуры, мм	16	25		
Длина м	По верти- кали	По горизонтали		По кровле и стенкам с шагом установки 0,5 м
	4,5	4,5		
Количество прутков м	По верти- кали	По горизонтали		
	23	23		
Общая длина арматуры, м	207	24		
Вес 1 м арматуры, кг	1,578	3,853		
Общий вес арматуры, т	0,327	0,093		
	0,42			
Средняя цена арматуры за 1 т, руб.	50 000			
Сумма затрат на арматуру, руб.	21 000			
Дополнительные трудозатраты на возведение перемычки				
Количество крепильщиков для установки арматуры, чел./смену	3		-	
Установка арматуры, смены	3		-	
Трудозатраты на установку арматуры для перемычки, чел./смену	9		-	
Средняя заработная плата крепильщика, руб./мес	100 000		-	
График работы (вахта), смен/мес	15			
Оплата труда на человека в смену, руб.	6 700			
Страховые взносы от заработной платы, %	30,2			
Фонд оплаты труда на человека в смену с учетом страховых взносов, руб.	8 720			
Общая сумма дополнительных трудозатрат на возведение перемычки, руб.	78 480			
Итого затрат на закладочные работы, руб.	3 699 480		5 580 000	
Экономическая эффективность, руб.	1 880 520		0	

Несмотря на то, что денежные затраты возрастают на возведение усиленной железобетонной перемычки и дополнительные трудозатраты общая экономическая эффективность за счет снижения прочности несущего слоя закладки с 5 МПа до 3 МПа позволяет получить экономию в 1 880 520 руб. для одной камеры. В течение года на руднике осуществляется выемка десятков камер. Общий экономический эффект будет значительно выше.

ПОИСК СПОСОБОВ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОКСИТОВОГО ОСТАТКА

БАРИНКОВА А. А., ПИИРАЙНЕН В. Ю.

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

Аннотация. Красный шлам – бокситовый остаток после гидрохимического извлечения глинозема из руды. Его непрерывное складирование является проблемой как для алюминиевой промышленности в частности, так и для окружающей среды в целом. Разработка композиционного материала на основе красного шлама является перспективным решением по безотходной переработки отхода. В статье предложены составы, позволяющие получить изделия с хорошими физико-механическими свойствами, которые могут найти свое применение в строительной и сельскохозяйственной сфере.

Ключевые слова: красный шлам, торф, переработка, композиционный материал, бетон, удобрение.

FINDING WAYS TO RATIONALLY USE BAUXITE RESIDUE

BARINKOVA A. A., PIIRAINEN V. Yu.

Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg

Abstract: Red mud is the bauxite residue after the hydrochemical extraction of alumina from the ore. Its continuous storage is a problem both for the aluminum industry and for the environment. The development of a composite material based on red mud is a promising solution for waste-free recycling. The article proposes compositions that allow obtaining products with good physical and mechanical properties, which can find their application in the construction and agricultural spheres.

Keywords: red mud, peat, recycling, composite material, concrete, fertilizer.

Российская алюминиевая компания «РУСАЛ» входит в число крупнейших мировых производителей алюминия и глинозема. По опубликованным данным в 2021 г. компанией было выпущено 3,764 млн т алюминия и 8,304 млн. тонн глинозема, что составило 5,6 % и 6,3 % от мирового производства, соответственно [1]. Как известно, получение алюминия является трудоёмким и многостадийным процессом, включающим в себя следующие этапы – добыча бокситов, отделение глинозема от пустой породы и извлечение чистого металла. В ходе производства образуется значительное количество отходов, так как в среднем из 4–5 т бокситов получается 2 т глинозема, из которого выплавляется 1 тонна алюминия [1]. Самое большое выделение шлама наблюдается на втором этапе получения алюминия, а именно при извлечении глинозема из боксита. Извлечение преимущественно осуществляется методом Байера, в процессе которого образуется большое количество побочного продукта - красного шлама [2].

Красный шлам (КШ) – нерастворенный остаток после гидрохимической обработки боксита, имеющий высокую щелочность (10–13 рН) и малую дисперсность частиц [3]. Отход богат такими компонентами, как – оксидами железа, оксидами алюминия, оксидами кальция, оксидами кремния, оксидами титана и в малых соотношениях оксидами редкоземельных элементов (табл. 1, 2) [4–7].

Таблица 1. Химический состав красного шлама на содержание основных оксидов, %

Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Na ₂ O*	TiO ₂	Прочие	П.п.п.
43,1	13,6	11,4	9,3	4,0	3,9	8,7	6,0

*массовая доля суммы оксидов натрия и калия в пересчете на оксид натрия.

Таблица 2. Содержание редкоземельных элементов (РЗЭ) в красном шламе, %

Sc	Y	Ce	Pr	Nd	Sm	Gd	Eu
0,025	0,054	0,063	0,017	0,039	0,012	0,056	0,025
Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
0,019	0,023	0,017	0,019	0,014	0,014	0,012	

Ежегодное производство красного шлама в России составляет порядка 7,56 млн т, а мировое – 120 млн т. Но несмотря на потенциал использовать бокситовый остаток как сырье, самым распространенным способом работы с КШ является его складирование в специальные шламохранилища (рис. 1) [8, 9]. Массовое использование такого метода утилизации вызвано за счет более простой технологии обработки отхода, в отличие от технологий гидро- и пирометаллургических методов [10–14]. Тем не менее складирование красного шлама является лишь временным решением *проблемы* его постоянного накопления. Подтверждением необходимости искать другие способы утилизации являются произошедшие аварии в Венгрии в 2010 г. и в Бразилии в 2019 г. [15]. В качестве последствий катастроф можно наблюдать химическое загрязнение тысячи гектаров земли и подпочвенных вод, а также получение химических ожогов близ находящихся животных и людей [16].



Рис. 1. Шламохранилище Уральского алюминиевого завода (УАЗ)

Мировое накопление красного шлама на конец 2021 г. составило свыше 4 млрд т, что подтверждает *актуальность* вышеуказанной проблемы и мотивирует продолжать поиски более оптимальных технологий, способных утилизировать большое количество накопленного отхода.

Одним из перспективных способов массовой переработки бокситового остатка является метод непосредственного использования отхода, а именно разработка композиционных материалов, включающих в свой состав значительное количество КШ.

Такие композиты должны обладать достаточными значениями прочности для дальнейшего применения, а также иметь нейтральный водородный показатель для устранения негативного влияния красного шлама на конечный продукт.

Достигнуть нейтрального состояния отхода или композиционного материала, в составе которого находится КШ, возможно с помощью: кислоты, компонента с показателем $pH < 7$ или углекислого газа. Нейтрализация щелочности красного шлама необходима для получения твердого, прочного и экологически безопасного для окружающей среды композиционного материала [17].

Перспективными направлениями использования бокситового остатка в качестве одного из компонентов композита являются разработка органоминеральных удобрений и строительных материалов на основе красного шлама. Ранее проведенные исследования подтверждают возможность использовать таким способом значительное количество отхода (до 30 % от общей массы, в противном случае наблюдается разупрочнение материала) [18–21]. Полученные образцы обладали достаточными значениями прочности для их последующего применения.

На основании выведенных положительных результатов коллег нашим научным коллективом были разработаны составы материалов, позволяющие безотходно утилизировать более 30% красного шлама. Подтверждениями возможности использовать такие композиты являются результаты испытаний на прочность для строительных материалов и определение степени прорастания и всхожести семян овса по ГОСТ 12038–84 для органоминерального удобрения.

Органоминеральное удобрение на основе красного шлама. Для разработки материала были использованы красный шлам Уральского алюминиевого завода и верховой торф Заозерного месторождения. Торф в композиции выступал в роли компонента с показателем $pH < 7$ для нейтрализации щелочности отхода, а так же в качестве составляющего, которое обладает необходимыми питательными веществами (гумус) для удобрения. Композиционные материалы были выполнены в форме гранул диаметром около 10 мм каждая. Соотношение красного шлама к торфу варьировалось в диапазоне 1:0,86–1,14. Обоснованием таких пропорций является достижение нейтрального состояния ($pH = 7$) смеси. В случае отклонений от указанных значений соотношений наблюдается изменение водородного показателя и ухудшение характеристик гранул (табл. 3).

Таблица 3. Свойства опытных образцов (патент RU 2 788 695 C1)

Соотношение по сухому веществу, КШ/торф	pH гранул	Характеристика гранул
1/1,14	7	Высокая твердость, отсутствие крошимости при транспортировке
1/0,86	7	Высокая твердость, отсутствие крошимости при транспортировке
1/1	7	Высокая твердость, отсутствие крошимости при транспортировке
1/0,71	8	Низкая твердость и прочность, высокая крошимость, образование пыли при транспортировке
1/1,43	6	Низкая твердость и прочность, высокая крошимость, образование пыли при транспортировке

Далее было проведено исследование влияния полученных гранул на степень прорастания и всхожести семян овса согласно требованиям ГОСТа. Для сравнительного анализа были использованы две емкости, в одной из которых было добавлено шламоторфянное удобрение. Полученные результаты однозначно указывают на то, что

присутствие композиционных материалов в качестве добавки к почвам способствует повышению проращивания и увеличению длины ростков в 2 раза (рис. 2, 3).



Рис. 2. Всхожесть семян (третьи сутки): слева – без добавления удобрения, справа – с добавлением удобрения



Рис. 3. Всхожесть семян (седьмые сутки): слева – без добавления удобрения, справа – с добавлением удобрения

Производство в промышленных масштабах предложенного органоминерального удобрения на основе красного шлама позволит сократить запасы отхода в шламохранилищах, а также рационально использовать бокситовый остаток для рекультивации «бедных» почв.

Строительные материалы на основе красного шлама. Для разработки составов были использованы следующие компоненты: красный шлам Уральского алюминиевого завода, портландцемент М-500, гравий фракцией 2-5 мм, строительный песок. Нейтрализация щелочности КШ для разработки данного типа композиционного материала была осуществлена путем добавления серной кислоты к пульпе. Выбор серной кислоты для выполнения реакции обоснован образованием натриевой соли серной кислоты, которая является регулятором водородного показателя. После проведения нейтрализации бокситового остатка было подготовлено несколько вариантов соотношений компонентов (табл. 4). Также согласно ГОСТу 27006–2019 для увеличения прочности в часть смесей при затворении водой была введена добавка в виде пластификатора. Полученные цементный составы были заформованы в ёмкости размерами 40 x 40 x 40 мм, а по истечении 28 сут затвердевшие образцы были извлечены из форм и испытаны на прочность на сжатие (табл. 4).

Таблица 4. Соотношения и свойства опытных образцов

№	Соотношение компонентов сухой смеси: портландцемент/песок/красный шлам/гравий	Соотношение компонентов от общей массы, %		Прочность на сжатие, МПа	Марка бетона
		Пластификатор	Вода		
1	1/1,5/-/2,5	–	8,94	19,09	M250
2	1/1,5/-/2,5	0,20	8,94	26,92	M300
3	1/-/1,5/2,5	–	8,94	20,36	M250
4	1/-/1,5/2,5	0,20	27,36	32,24	M350
5	1/0,75/0,75/2,5	–	17,20	22,87	M250
6	1/0,75/0,75/2,5	0,20	20,00	41,66	M450
7	1/2/2/-	–	25,00	17,60	M250
8	1/2/2/-	0,20	26,47	33,77	M350
9	1/-/4/-	–	33,33	5,89	M75
10	1/-/4/-	0,20	41,67	23,84	M250

Исходя из результатов табл. 4 было установлено, что композиционные материалы, включающие в свой состав более 30 % красного шлама, обладают достаточной

прочностью для использования таких бетонов в строительстве. Также установлено, что увеличение содержания бокситового остатка приводит к потере прочности, а при вводе пластификатора в цементную смесь наблюдается упрочнение образцов.

Таким образом, показана перспективность использования красного шлама в составе композиционных материалов для производства строительных материалов и удобрений, что позволяет предприятиям рассчитывать на дополнительную прибыль от реализации новой товарной продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. РУСАЛ [Электронный ресурс]: О компании Электрон. текст. дан. Режим доступа: <https://www.rusal.ru/about/> (Дата обращения: 11.02.2023)
2. Утков В. А. Теория и практика переработки красных шламов // *Техника и технология*. 2012. № 3. С. 56–57.
3. Трушко В. Л., Утков В. А., Бажин В. Ю. Актуальность и возможности полной переработки красных шламов глиноземного производства // *Записки Горного университета*. 2017. Т. 227. С. 547–553.
4. Утилизация шлама глиноземного производств / И. Н. Пягай [и др.] // *Журнал прикладной химии*. 2012. Т. 85. № 11. С. 1736–1740.
5. Хтет, Й. А. Выщелачивание РЗЭ из красных шламов в карбонатные и хлоридно-карбонатные растворы в условиях карбонизации / Й. А. Хтет, А. В. Бояринцев, С. И. Степанов // *Успехи в химии и химической технологии*. – 2019. – Т. 33. № 9(219). – С. 25–27.
6. Balaram, V. 2019. Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact. *Geoscience Frontiers* 10:1285–303.
7. Козырев, Б. А. Разработка комплексной технологии переработки красного шлама с попутным извлечением скандия / Б. А. Козырев, В. М. Сизяков // *Обмен научными знаниями: актуальные вопросы и перспективные направления развития: сборник научных трудов*. – Казань : ООО "СитИвент", 2021. – С. 359–361.
8. Khalifa, Ahmed E., Bazhin, V. Yu., Kuskova, Ya. V., Abdelrahim, Ahmed M. and Yasser M. Ahmed. Study the Recycling of Red Mud in Iron Ore Sintering Process. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. 22. P. 191–201. <https://doi.org/10.12911/22998993/137966>
9. Archambo, M. S., and Kawatra S. K. (2020). Red mud: Fundamentals and new avenues for utilization. *Mineral Processing Extractive Metallurgy Review*. pp. 1–24. <https://doi.org/10.1080/08827508.2020.1781109>
10. Archambo, M., & Kawatra, S. K. (2020). Red Mud: Fundamentals and New Avenues for Utilization. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 1–24. doi:10.1080/08827508.2020.1781109
11. Evans, K. (2016). The History, Challenges, and New Developments in the Management and Use of Bauxite Residue. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 2(4), 316–331. <https://doi.org/10.1007/s40831-016-0060-x>
12. Пат. 2245371С2 Рос. Федерация, МПК С 21 В 3/04, С 22 В 34/12, 59,00. Способ переработки красного шлама глиноземного производства / Коршунов Е.А., Буркин С.П., Логинов Ю.Н., Логинова И. В., Андрюкова Е. А., Третьяков В.С.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Фирма «ДАТА-ЦЕНТР». № 2003103262/02; заявл. 03.02.03; опубл. 21.01.05. 5 с.
13. Пат. 2147623С1 Российская Федерация, МПК С 22 В 59/00, 7/00, В 03 С 1/00. Способ извлечения редкоземельных металлов, скандия и иттрия из красных шламов глиноземного производства / Орлов С.Л., Энтелис И.Ю., Смирнов Б.Н.; заявитель и патентообладатель Орлов С.Л., Энтелис И.Ю., Смирнов Б.Н. № 99120766/02; заявл. 06.10.99; опубл. 20.04.00. 4 с.
14. Патент РФ 2494965 С1, МПК С01F 7/06, С22F 7/14. Способ переработки бокситов на глинозем / Логинова И.В., Логинов Ю.Н., Кырчиков А.В. Патентообладатель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». № 2012107941/02; заявл. 01.03.12; опубл. 01.03.13. 6 с.
15. Rutyers, S., J. Mertens, E. Vassilieva, B. Dehandschutter, A. Poffijn, and E. Smolders. 2011. The red mud accident in Ajka (Hungary): Plant toxicity and trace metal bioavailability in red mud contaminated soil. *Environmental Science and Technology* 45:1616–22.

16. Машенцева И.А., Власова О.С. Анализ негативного воздействия на окружающую среду предприятий по производству алюминия // Инженерный вестник Дона. Волгоград, 2017. № 1. С. 1-13.
17. Hanahan, C., D. McConchie, J. Pohl, R. Creelman, M. Clark, and C. Stocksiek. 2004. Chemistry of seawater neutralization of bauxite refinery residues. *Environmental Engineering Science* 21 (2):125–38.
18. Liu, X., and N. Zhang. 2011. Utilization of red mud in cement production: A review. *Waste Management and Research* 29 (10):1053–63.
19. Montini, M., X. Li, A. J. Rodrigues, R. C. O. Romano, R. G. Pileggi, and K. Scrivener 2018. Activate fly ash reaction using bauxite residue in blended cement. 2nd International Bauxite Residue Valorization and Best Practices Conference. Athens, Greece. 7-10/May/2018.
20. Халилзаде, В. Д. Красный шлам Гянджинского глиноземного завода - экологические проблемы и возможные пути использования / В. Д. Халилзаде, К. Х. Байрам, Е. И. Исмаилов // Региональные стратегии и проекты: эколого-экономические аспекты разработки и реализации: Материалы международной научно-практической конференции, Москва, 07 апреля 2020 года. М.: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2020. – С. 213-221.
21. Тютюма Н.В. Роль микроэлементов в стимулировании роста и развития растений и повышении их устойчивости к неблагоприятным условиям среды // Вестник РУДН (серия Экология и безопасность жизнедеятельности). 2003. № 8. С. 129–133.

ВЛИЯНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ КОЛЧЕДАНЫХ РУД НА ИХ ВЗРЫВООПАСНОСТЬ

ТЕТЕРЕВ Н. А., ВАЛИЕВ Н. Г., ЕРМОЛАЕВ А. И., МАЙНИНГЕР В. А.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

Аннотация. Установлено, что вместе с химико-минералогическим составом, большое влияние на взрывоопасность руд оказывают их прочностные свойства, такие как крепость, вязкость, трещиноватость, условия зажима и др. Для характеристики степени взрывоопасности колчеданного массива предложена классификация колчеданных руд с учетом их прочности свойств. В соответствии с данной классификацией разработан комплекс мероприятий по предупреждению взрывов сульфидной пыли в проходческих забоях.

Ключевые слова: взрывоопасность, крепость, вязкость, трещиноватость, взрывчатые вещества.

INFLUENCE OF THE STRENGTH PROPERTIES OF PYRITE ORES ON THEIR EXPLOSION HAZARD

TETEREV N. A., VALIEV N. G., YERMOLAEV A. AND., MEININGER V. A.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

Abstract. It has been established that, together with the chemical and mineralogical composition, their strength properties, such as strength, viscosity, fracturing, clamping conditions, etc., have a great influence on the explosiveness of ores. To characterize the degree of explosion hazard of the pyrite massif, a classification of pyrite ores is proposed, taking into account their strength properties. In accordance with this classification, a set of measures has been developed to prevent explosions of sulfide dust in sinkholes.

Keywords: explosion hazard, strength, viscosity, fracturing, explosives.

Под термином взрывоопасность здесь понимается вероятность или частота возникновения взрывов (вспышек) сульфидной пыли при ведении взрывных работ по колчеданным рудам.

Исследованиями установлено, что наряду с химико-минералогическим составом, большое влияние на взрывоопасность руд оказывают их прочностные свойства, такие как крепость, вязкость, трещиноватость, условия зажима и др.

Статистика взрывов сульфидной пыли, при шпуровым взрывании, на колчеданных рудниках показывает, что они как правило, приурочены к трудно взрываемым рудам, характеризующимся низким КИШ, относительно высоким удельным расходом ВВ, наличием «прострелов» шпуров.

Авторами предложен метод суммарной оценки прочностных свойств руд по величине удельного расхода ВВ и удельному объему общей горной массы.

Расчет удельного расхода ВВ предлагается производить по формуле Н.М. Покровского:

$$q = q_1 \cdot K_{ст} \cdot Z_e, \quad (1)$$

где q – удельный расход ВВ, кг/м³; q_1 - нормальный удельный расход ВВ, кг/м³; $K_{ст}$ - коэффициент структурного ослабления массива; Z - коэффициент зажима породы; e - коэффициент работоспособности ВВ.

Нормальный удельный расход ВВ – это расход ВВ при дроблении породы взрывом при наличии неограниченной поверхности, глубине одиночного шпура ($l_{шп} = l_m$) и показателе $r/l_{шп} = 1$ (r - радиус воронки одиночного взрыва).

Нормальный удельный расход ВВ определяется по эмпирической формуле:

$$q_1 = 01 \cdot f_b \quad (2)$$

где f_b - коэффициент крепости пород по шкале М.М. Протодяконова с поправкой А.И. Барона. Этот коэффициент крепости учитывающий разрушаемость горных пород определяется из выражения: $(10 f/3)^{0.5}$, где f - коэффициент крепости пород по шкале Протодяконова.

Коэффициент структурного ослабления ($K_{ст}$) учитывает влияние трещиноватости, направления трещин и вязкости пород.

$$K_{ст} = K_{тр} \cdot K_n \cdot B, \quad (3)$$

где $K_{тр}$ - коэффициент, учитывающий трещиноватость массива; значения $K_{тр}$ приведены в [3]; K_n - коэффициент, учитывающий направление трещин по отношению к плоскости забоя; B - коэффициент, учитывающий влияние вязкости пород.

Коэффициент K_n вводится при наличии явно выраженной направленности трещин. Рекомендуемые значения K_n приведены в [2].

Коэффициент, учитывающий влияние вязкости пород определяем из выражения:

$$B = (\sigma_{сж} + \sigma_p) / \sigma_{сж}, \quad (4)$$

где $\sigma_{сж}$ - предел прочности при сжатии, Па; σ_p - предел прочности при растяжении, Па.

Коэффициент зажима пород может быть определен по формуле П.Я Тарана, которая учитывает влияние площади забоя и глубины шпуров:

$$Z = 3 l_{шп} / S^{0.5}, \quad (5)$$

где Z - коэффициент зажима пород; $l_{шп}$ - глубина шпуров, м.; S – площадь забоя, м²

Расчет коэффициента работоспособности ВВ (e) производится по формуле:

$$e = A_{эт} / A_{вв}, \quad (6)$$

где $A_{эт}$ - идеальная работоспособность взрыва аммонита 6 ЖВ (равна 3,56 МДж); $A_{вв}$ – то же для данного ВВ.

Анализ результатов натуральных наблюдений за взрывами сульфидной пыли в горных выработках ряда колчеданных рудников Урала в увязке с данными аналитических расчетов удельных расходов ВВ в тех же выработках позволили установить количественную взаимосвязь между прочностью колчеданного массива и степенью его взрывоопасности.

Для характеристики степени взрывоопасности колчеданного массива предложена классификация колчеданных руд с учетом их прочности свойств:

Степень взрывоопасности руд	Значения q , кг/м ³
Весьма взрывоопасные	2,8 и более
Взрывоопасные	От 2 до 2,7
Маловзрывоопасные	Менее 2,0

В соответствии с предложенной классификацией разработан комплекс мероприятий по предупреждению взрывов сульфидной пыли в проходческих забоях включающие:

1. Для весьма взрывоопасных руд - применение патронированных ВВ, покрытых оболочкой, из гидропасты. Усредненная толщина оболочки составляет 4–5мм;

2. Для взрывоопасных руд – взрывание шпуровых зарядов с забойкой устьев шпуров водонаполненными ампулами или гидропастой. В дополнении к внутренней забойке рекомендуется применение наружных водяных завес, создаваемых гидроминным способом;

3. Для мало взрывоопасных руд – взрывание врубовых и вспомогательных шпуров с забойкой устьев шпуров водонаполненными ампулами длиной 0,5 м и с предварительным орошением забойной части выработки (длиной не менее 10 м от лица забоя).

При взрывании накладных зарядов, независимо от степени взрывоопасности руд, рекомендуется применение наружной забойки в виде полиэтиленовых емкостей, заполненных водой или гидропастой.

Предлагаемые мероприятия опробованы на ряде колчеданных рудников Урала (Догтярский, Ломовский, Гайский и др). Получены устойчивые положительные результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ржевский В. В., Новик Г. Я., Основы физики горных пород. М.: недра. 1978. 390 с.
2. Покровский Н. М. Сооружение и реконструкция горных пород выработок. Ч. 1. М.: Госгортехиздат, 1972. 379 с.
3. Мосинец В. Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. М.: Недра. 1976. 240 с.
4. Мосинец В. Н., Абрамов А В разрушение трещиноватых горных пород. – М: Недра, 1982. 248 с.
5. Чернявский Э. И. Исследование взрывов сульфидной пыли при проведении горных выработок и изыскание способов их предупреждение: дис. ... канд. тех. наук. Свердловск, 1966. 146 с.
6. Тетерев Н. А., Ермолаев А. И. Расчет безопасных расстояний по фактору ударно-воздушной волны при производстве взрывных работ в подземных выработках опасных по взрыву сульфидной пыли // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № s63. С. 12–19.
8. Тетерев Н. А., Ермолаев А. И. Исследование влияния физико-химических свойств сульфидной пыли на ее взрывчатость // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № s63. С. 3–11.
9. Тетерев Н. А., Ермолаев А. И. Анализ исследований в области взрывов пыли и их предупреждения на подземных рудниках.
10. Тетерев Н. А., Валиев Н. Г. Изученность природы взрывов сульфидной пыли // Проблемы совершенствования управления природными и социально-экономическими процессами на современном этапе: междунар. науч.-практ. конф. / Уральский государственный горный университет, Киргизский государственный университет им. И. Арабаева. Екатеринбург, 2020. С. 168–171.

УДК 622.273.1

**ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОИЗВОДСТВОМ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

АНИСТРАТОВ К. Ю., ВАСИЛЬЕВА М. О.

Горный институт КНЦ РАН, Апатиты

Аннотация. Авторами разработаны основные принципы формирования цифровой системы управления производством горнодобывающего предприятия на примере месторождений с открытым способом разработки. В статье представлены сформулированные авторами основные понятия и определения цифровой системы управления горным предприятием как конечный результат цифровой трансформации. Реализация цифровой системы управления горным производством основана на формировании цифрового двойника, как комплекса программ и цифровых инструментов, интегрированных в единую информационную систему для создания виртуального прототипа горного производства и предприятия. Особенность изложенного подхода к цифровизации горного производства заключается в управлении техническим состоянием и эксплуатацией каждой единицы карьерной техники в процессе непрерывного мониторинга ее технического состояния и технико-экономических показателей, как составляющей производственных активов горного предприятия, с целью оптимизации затрат на владение в течение жизненного цикла единицы оборудования и в целом структуры комплексной механизации предприятия. Комплексное использование аппаратно-программных комплексов и специального программного обеспечения, а именно информационной системы управления активами ТРИМ «Жизнь машины», ERP-системы 1С «Горная промышленность», автоматизированной системы диспетчеризации горнотранспортного комплекса, горно-геологической информационной системы «МАЙНФРЭЙМ», а также модуля «Управление структурой комплексной механизации», интегрированных между собой, обеспечивает функционирование цифровой системы управления горным производством.

Ключевые слова: цифровая трансформация горнодобывающих предприятий, цифровая система управления производством горнодобывающего предприятия, открытые горные работы, цифровой двойник, цифровые модели, структура комплексной механизации, горнотранспортный комплекс.

**PRINCIPLES OF FORMATION OF A DIGITAL PRODUCTION
MANAGEMENT SYSTEM OF A MINING ENTERPRISE**

ANISTRATOV K.Y., VASILEVA M. O.

Mining Institute of the KNC RAS, Apatites

Abstract. The authors have developed the basic principles of formation of the digital production management system of the mining enterprise on the example of deposits with the open-cut mining method. The article presents the basic concepts and terms formulated by the authors of the digital management system of the mining enterprise as the end result of the digital transformation. The implementation of digital management system of mining production is based on the formation of a digital twin, as a set of programs and digital tools integrated into a single infor-

mation system to create a virtual prototype of mining production and enterprise. The peculiarity of the stated approach to the digitalization of the mining enterprise consists in the management of the technical condition of each unit of equipment in the process of continuous monitoring of the technical condition of each unit of equipment in order to optimize the set of costs, risks and productivity during the life of the unit of equipment and the whole structure of the integrated mechanization of the enterprise as a set of production assets. Complex use of special software, namely information system of asset management TRIM "Machine Life", ERP-system 1С "Mining industry", automated system of dispatching of mining transport complex, mining-geological information system "MineFrame", and also new module "Management of complex mechanization structure" via integration unit will allow to realize idea of digital control system of mining production.

Keywords: digital transformation of mining enterprises, digital production management system of a mining enterprise, open-pit mining, digital twin, digital models, complex mechanization structure, mining transport complex.

Предприятия горнодобывающей промышленности России вовлечены в процесс цифровой трансформации, под которой понимается комплексное преобразование предпринимательской деятельности, связанное с переходом к новым моделям ведения (управления) производственно-хозяйственной, торговой, финансово-экономической деятельности горнодобывающего предприятия, базирующееся на управлении данными с использованием цифровых технологий с целью повышения эффективности бизнеса и его долгосрочной устойчивости.

Цифровая трансформация горнодобывающего предприятия – процесс изменения способов управления горнодобывающим комплексом на всех этапах создания стоимости в ходе его основной деятельности за счет использования цифровых технологий.

Конечной целью цифровой трансформации является создание цифровой системы управления горным предприятием, которая предусматривает комбинированное применение коммуникационных технологий, математических моделей, систем мониторинга и методов оптимизации, оперирующих в реальном времени в едином информационном пространстве.

Цифровое горнодобывающее предприятие – это предприятие, в котором процессы добычи, транспортировки и переработки полезных ископаемых полностью автоматизированы, и управление развитием горных работ, технологическими комплексами геологоразведочного, горного, транспортного, дробильно-размольного, обогатительного и вспомогательного оборудования обеспечивается с использованием искусственного интеллекта, методов обработки больших массивов данных (BIG DATA), прогнозной аналитики, интернета вещей в едином цифровом и информационном пространстве на основе непрерывно обновляемого цифрового двойника предприятия с применением онлайн мониторинга состояния всех горных выработок, оборудования и персонала.

Создание единого информационного пространства обеспечивается путем интеграции всех существующих инженерных, технических и производственных данных в единую для всего горного предприятия базу данных, связанную с хранилищем больших данных (лазерные сканы, блочные модели, векторные и растровые данные, КАД-модели и т. п.) с целью эффективного управления и доступа к ним.

Результатом такой интеграции является «Цифровой двойник» горного предприятия, формируемый с целью мониторинга и анализа эффективности эксплуатации каждой единицы техники и всех технологических процессов горного производства в режиме реального времени, а также моделирования сценариев развития горных работ при использовании различной структуры парков карьерной техники для принятия оптимальных решений.

Цифровой двойник горного предприятия (карьера, рудника, шахты, горно-обогатительного комбината, горно-металлургического комбината) представляет собой виртуальный динамично развивающийся цифровой образ предприятия, включающий месторождения полезных ископаемых, совокупности горных выработок, основных и вспомогательных технологических процессов, всех технических и инфраструктурных объектов, работающий в конкретных природно-технологических, организационных, экономических и экологических условиях.

Цифровой двойник это специальный комплекс программ и цифровых инструментов, интегрированных в единую информационную систему для формирования виртуального прототипа горного производства и предприятия.

Цифровой двойник не ограничивается сбором данных, полученных на стадии разработки и изготовления продукта. Созданный программный комплекс обеспечивает непрерывный сбор и обработку данных для системного анализа эффективности производственных процессов и всех объектов, входящих в производственные активы предприятия, в том числе с помощью периодических измерений и информации от IoT-датчиков.

Формируемая технико-экономическая виртуальная модель предприятия является инструментом моделирования различных сценариев развития, как отдельных процессов, на основе непрерывно обновляемых данных функционирования объектов, так и всего предприятия в целом, обеспечивая принятие оптимальных решений при оперативном управлении, планировании текущей деятельности, формировании планов развития предприятия в средней и долгосрочной перспективе, проектировании, а также инвестиционной деятельности с учетом изменения спроса и цен на минерально-сырьевые ресурсы на мировом рынке.

Цифровые двойники технологических процессов, карьера, каждой единицы техники, обогатительной фабрики, составляющих производственные активы, в комплексе формируют цифровой двойник горного производства и предприятия и дают возможность моделировать самые разные ситуации, которые могут возникать на производстве.

Рассматривая принципы цифровой системы управления горным предприятием применительно к горным предприятиям с открытым способом разработки определяются два понятия: «цифровая система управления горным производством» и «цифровая система управления горным предприятием». Это обусловлено уровнем цифровизации горнодобывающих предприятий в настоящее время, ограничениями в функционале управления производственной деятельности и архитектурой программных средств.

Цифровая система управления горным производством (ЦСУ ГП) ограничивается функционированием горнотранспортного комплекса – производственными активами в составе парков основного технологического и вспомогательного оборудования, процессами подготовки горных пород к выемке, экскавации, транспортирования, отвалообразования и складирования угля.

Эффективность функционирования производственных активов в непрерывно изменяющихся природно-технологических условиях оценивается набором ключевых показателей эффективности (КПЭ). Главными КПЭ являются накопленные и удельные накопленные затраты на владение каждой единицы техники и парков карьерной техники, затраты и удельные затраты по технологическим процессам открытых горных работ, приведенные затраты на владение производственными активами (парками технологического и вспомогательного оборудования) и чистый дисконтированный доход (ЧДД), ОПЕХ (эксплуатационные затраты по варианту динамики структуры комплексной механизации и развития горных работ), САРЕХ (капитальные затраты на техническое перевооружение парков горного оборудования) [1].

Задача программного комплекса «Цифровая система управления горным производством» обеспечить анализ технико-экономических показателей (ТЭП) работы каждой единицы карьерной техники и парков горного оборудования на основе непрерывного анализа фактических данных производственных и экономических показателей, а также про-

водить расчет и прогноз технико-экономических показателей работы производственных активов на планируемый период времени (год, три, пять, десять лет) по вариантам развития горных работ и динамики структуры комплексной механизации с учетом планируемого изменения показателей работы каждой единицы техники в течение расчетного срока их службы и в целом парков основного и вспомогательного технологического оборудования на период планирования.

Цифровая система управления горным предприятием охватывает производственные активы обогатительных фабрик и процессы переработки, логистику, управление материально-техническим снабжением, маркетинг, сбыт продукции, экологию и всю инфраструктуру горнодобывающего предприятия (холдинга).

Преимущества цифровой системы управления горным производством.

Создание единого информационного пространства обеспечивает доступ в режиме реального времени к последней версии сохраненной в базе данных информации техническому, операционному и управленческому персоналу в объеме разрешенного уровня доступа.

Быстрый и безостановочный обмен информацией между различными техническими и производственными отделами реализуется специальными модулями, протоколами обмена и конвертации данных.

Создание операционных табло с КПЭ и доступ к ним для высшего управленческого персонала через веб-протокол/программу-браузер из любой точки земного шара для просмотра текущих отчетов и принятия осознанных решений.

Построение цифровой системы управления горным производством на карьере.

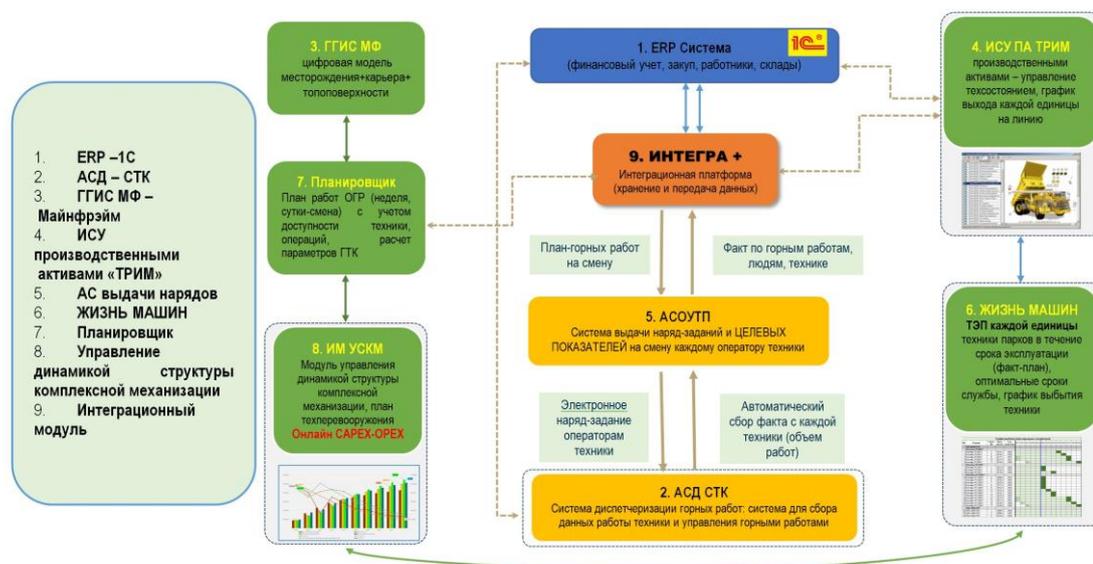


Рис. 1. Схема взаимосвязи цифровых инструментов в составе программного комплекса «Цифровая система управления горным производством»

В настоящее время на горнодобывающих предприятиях с открытым способом разработки используются следующие цифровые инструменты, являющиеся частью программного комплекса «Цифровое управление горным производством» (рис. 1):

1С: Горнодобывающая промышленность. Модуль 1С:ERP предназначен для расширения функциональных возможностей типовых конфигураций «ERP. Управление холдингом» и «ERP. Управление предприятием» в части автоматизации оперативного, управленческого, регламентированного учета и планирования деятельности горнодобывающих предприятий [2].

Автоматизированная система управления (АСУ) горнотранспортным комплексом, такие как отечественные автоматизированные системы диспетчеризации (АСД) «Союзтехноком», «Карьер» [3, 4] и зарубежные АСД «Wenco», «Modular System», пока используемые на карьерах России.

Горно-геологическая информационная система (ГГИС) – программный комплекс, используемый на горных предприятиях в первую очередь для формирования цифровых геологических моделей, моделей топоповерхности, моделей горных выработок и планирования горных работ. На некоторых горнодобывающих предприятиях России нашли применение отечественные ГГИС «МАЙНФРЭЙМ» [5], «ГЕОМИКС» [6, 7] и зарубежные «Micromine» [8], «MicroStation» [9].

Для формирования единого информационного пространства в комплекс цифровых инструментов управления горным производством входят следующие элементы:

Информационная система управления производственными активами (ИСУ ПА). Как правило, горнодобывающие предприятия ограничиваются применением отдельных модулей планирования технического обслуживания и ремонтов (ТОиР) или программных решений в ERP-системах, например 1С, SAP.

Основное отличие функционала программного обеспечения (ПО) для планирования ТОиР от системы ИСУ ПА ГП заключается в том, что актив – идентифицируется как объект, который имеет действительную ценность для организации.

В качестве базового цифрового инструмента управления активами в комплекс ЦСУ ГП включена отечественная «Информационная система для автоматизации процессов управления производственными активами горного предприятия «ТРИМ», разработанная в соответствии с ИСО 55000 – стандарты серии «Управление активами», ГОСТ 27.002–2015 «Надежность в технике. Термины и определения» и ГОСТ 18322–2016 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения» [10-14].

Задача управления производственным активом ИСУ ПА «ТРИМ» решается в процессе непрерывного мониторинга за техническим состоянием каждой единицы техники с целью оптимизация (с учетом ограничений) совокупности затрат, рисков и производительности в течение всей жизни единицы оборудования и в целом структуры комплексной механизации предприятия как актива.

Модуль «Жизнь машины». Особенностью ПО «ТРИМ» является наличие программного модуля «Жизнь машины» [15, 16], который обеспечивает мониторинг и анализ технико-экономических показателей работы каждой единицы парков карьерной техники в результате обработки потока данных, поступающих в базовый модуль ИСУ ПА «ТРИМ» из АСД ГТК и «1С: Горнодобывающая промышленность».

В ИСУ ПА «ТРИМ» формируется база данных фактического расхода материалов на ТОиР, запасных частей и комплектующих, фонд оплаты труда (ФОТ) ремонтного персонала и затрат на подрядчиков, а также планов воздействий ТОиР во времени, планы ТОиР, производится расчет затрат на основании нормативно-справочной информации (технологические карты на ТОиР техники) о нормативах расхода материалов, периодичности и трудоемкости работ по замене запасных частей.

В модуле «Жизнь Машины» для каждой единицы техники формируется непрерывно обновляемая база данных фактических и расчетных производственных, технических и экономических показателей об эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте и, в конечном итоге, совокупных затрат на владение в течение жизненного цикла машин. Включенный в этот модуль блок определения оптимальных сроков службы обеспечивает мониторинг технико-экономических показателей работы и непрерывный пересчет ключевых технико-экономических показателей и сроков службы каждой единицы парков карьерной техники, составляющих структуру комплексной механизации карьера, для принятия решения о выводе машин из эксплуатации [17].

ГГИС Майнфрэйм в ЦСУ ГП включает лицензионные пакеты: «Геология 9.0», «Маркшейдерия 9.0», Открытые горные работы – «ОГР 9.0», Планирование развития горных работ – «Планировщик 3.0» и модуль «Проектирование БВР».

Модуль Планирование развития горных работ «Планировщик 3.0» предусматривает:

- моделирование развития горных работ в пределах проектных контуров с использованием цифровых моделей месторождения и карьера для формирования сценариев по долгосрочному и среднесрочному планированию горных работ;

- формирование комплектов технологических потоков для каждой конкретной выемочной единицы парка экскаваторов, работающих в карьерном пространстве, с рассчитываемой производительностью экскаваторов и самосвалов в экскаваторно-автомобильном комплексе (ЭАК) в зависимости от конкретных природно-технологических условий и параметров трасс.

При этом функционал модуля «Планировщик 3.0» обеспечивает имитационное моделирование работы ЭАК с расчетом производительности каждой единицы техники в конкретных природно-технологических условиях на период смена-сутки с учетом времени в работе и планом- графиком выхода на линию самосвалов и плановых простоев экскаваторов.

АСУ выдачи и закрытия нарядов и наряд допусков. На рынке представлены несколько программных комплексов автоматизации процесса выдачи нарядов на горнодобывающих предприятиях, такие как «VG Work&Safety Management» [18], автоматизированная информационная система (АИС) «Альтан» [19] и др. Эти цифровые инструменты предназначены для формирования, согласования, выдачи и закрытия наряд-заданий и наряд-допусков, а также ведения единого журнала наряд-заданий.

Интеграция цифровых инструментов АСД СТК, «ЦД КАРЬЕР СМЕНА-СУТКИ», ИСУ ПА «ТРИМ» и «Жизнь машины» с нарядной системой для донесения операторам карьерной техники при выдачи наряда целевых значений выработки на погрузку и транспортирование горной массы, рассчитанных при имитационном моделировании работы ГТК карьера в конкретных природно-технологических и организационно-технологических условиях в периодах СМЕНА-СУТКИ, обеспечивает реализацию принципа «немедленно» оперативного доступа к структурированной информации о текущем состоянии ресурсов предприятия, что определяет повышение производительности работы ГТК и достижения плановых показателей работы карьера.

Модуль АСУ выдачи нарядов интегрирован в общую информационную систему, что позволяет горному мастеру, начальнику горного участка по запросу в модуль «Планировщик 3.0» получать данные о производительности каждого экскаватора в конкретном забое и самосвала в ЭАК в конкретной обстановке сутки-смена с учётом состояния дорог, климатических условий и конкретного режима работы карьера.

Модуль «Управление структурой комплексной механизации» (УСКМ) интегрируется с модулем «Жизнь Машины» и модулем планирования развития горных работ «Планировщик 3.0», обеспечивая моделирование динамики структуры парков карьерной техники карьера при различных вариантах развития горных работ при годовом, среднесрочном и долгосрочном планировании и возможность выбора эффективной стратегии технического перевооружения и оптимизации объемов работ, выполняемых подрядчиками. При этом заложенный алгоритм обеспечивает расчет всех операционных затрат (ОРЕХ) на эксплуатацию и ТОиР каждой единицы парков карьерной техники с учетом динамики их ТЭП в зависимости от изменения природно-технологических условий и параметров горных работ и динамику инвестиций, а именно затрат на техническое перевооружение парков оборудования с учетом оптимальных сроков службы техники, рассчитываемых в модуле «Жизнь Машины». В модуле УСКМ непрерывно определяются базовые КПЭ предприятия (NPV, CFADS, EBITDA, удельные затраты на добычу и др.). Итоговыми документами работы модуля УСКМ являются бюджет инвестиций, расчет всей совокупности

ТЭП работы карьера: себестоимости добычи полезного ископаемого и другие показатели по различным сценариям развития горных работ в зависимости от объемов добычи, цен на рынке полезных ископаемых и других внешних параметров и технического состояния парков карьерной техники.

Модуль «Интегра» обеспечивает интеграцию всех цифровых инструментов и формирование «Табло автоматизированного рабочего места (АРМ) руководителей горного производства» для доступа ко всем основным модулям через веб-протокол/программу-браузер для просмотра текущих отчетов и принятия осознанных решений (веб-интерфейс с полным доступом ко всей информации по горному предприятию) включает интерфейс с модулями:

Диспетчер АСД СТК;

ГГИС «МАЙНФРЕЙМ» с просмотром цифровых моделей месторождения, планов положения горных работ на любой период из базы данных проектов и планов горных работ;

ИСУ ПА «ТРИМ» для мониторинга состояния карьерной техники, оценки планов работ по ТОиР парков;

«Жизнь машины» для анализа графиков выбытия карьерной техники парков горного оборудования, аналитические формы по ТЭП каждой единицы техники и их динамики в течение срока эксплуатации;

«Оперативное табло» для выхода на оперативные отчеты, результаты расчетов показателей средне- и долгосрочного планирования, базовым аналитическим отчетом о производственной и финансово-экономической деятельности и комплекса КПЭ;

«БИЗНЕС ПЛАН КАРЬЕРА» – интерфейс с финансово-экономическим блоком ЦСУ ГП для планирования показателей работы карьера, формируемый в интеграции с текущими показателями работы карьера для различных сценариев, задаваемых руководителями в режиме онлайн.

Таким образом, Цифровая система управления горным производством горного предприятия предусматривает создание единого информационного пространства для технического, операционного (производственного) и управленческого персонала, когда каждый работник в зависимости от своего разрешенного уровня доступа к конфиденциальной информации получает такой доступ к последней версии сохраненной в базе данных информации в режиме реального времени

ЛИТЕРАТУРА

1. Анистратов К.Ю. Основные принципы разработки стратегии технического перевооружения карьеров // Глубокие карьеры. Сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – 18–22 июня 2012 г. – С. 117–129.
2. 1С: Горнодобывающая промышленность 2. Модуль для 1С: ERP: [сайт]. URL: <https://solutions.1c.ru/catalog/mining-modul> (дата обращения 06.06.2023).
3. Автоматизированная система диспетчеризации и управления горнотранспортным комплексом: [сайт]. URL: [СоюзТехноКом \(sotekom.ru\)](http://sotekom.ru) (дата доступа 06.06.2023).
4. АСУ ГТК «Карьер»: [сайт]. URL: <https://www.zyfra.com/ru/product/openmine/> (дата доступа 06.06.2023).
5. Анистратов К.Ю., Лукичев С. В, Наговицын О. В. Цифровая платформа ГГИС MINEFRAME // Открытые горные работы – XXI век. Т. 2 Справочник. М.: ООО «Система максимум». 2019. С. 437–444.
6. Программный комплекс ГЕОМИКС. URL: <https://geomix.ru/> (дата обращения 06.06.2023).
7. Курцев Б.В., Федотов Г.С., ГГИС Майкромайн – цифровая система проектирования и планирования открытых горных работ // Открытые горные работы – XXI век. Т. 2 Справочник. – М.: ООО «Система максимум». – 2019. – С. 462–473.
8. MicroStation: [сайт]. URL: <https://bentley-soft.com/microstation/> (дата обращения 06.06.2023).
9. ГОСТ Р 55.0.01-2014/ИСО 55000:2014 «Управление активами. Национальная система стандартов. Общее представление, принципы и терминология» [Электронный ресурс]: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25

декабря 2014 г. N 2138-ст. Доступ из «Электронного фонда правовых и нормативно-технических документов».

10. ГОСТ Р 27.102-2021 «Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения» [Электронный ресурс]: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 октября 2021 г. N 1104-ст. Доступ из «Электронного фонда правовых и нормативно-технических документов».

11. ГОСТ 18322–2016 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения [Электронный ресурс]: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 22 ноября 2016 г. N 93-П). Доступ из «Электронного фонда правовых и нормативно-технических документов».

12. ТРИМ. Инструмент управления активами: [Электронный ресурс]. URL: https://itm.spb.ru/files/overview_trim.pdf (дата обращения 06.06.2023).

13. АНВ Горная Компания начала эксплуатацию информационной системы ТОиР: [Электронный ресурс] // Сервис пресс-релизов: [сайт]. [2010]. URL: <https://pr.adcontext.net/10/03/26/48674> (дата обращения 06.06.2023).

14. Анистратов К. Ю., Стремилев В. Я. Метод управления техническим состоянием карьерной техники на основе использования компьютерной программы "Жизнь машины" // Проблемы карьерного транспорта: сб. трудов. – Екатеринбург., 2007. – С. 26–32.

15. Система управления ресурсом машин и оборудования. Решение «TRIM-Жизнь машины»: [сайт]. URL: <https://trim.ru/informacionnye-sistemy/upravlenie-resursom-mashin-reshenie-trim-zhizn-mashiny> (дата обращения 06.06.2023).

16. Анистратов К.Ю. Экономико-математическая модель комплексной механизации горных работ на карьерах // Горная Промышленность. – 2015. №3. – С.54.

17. VG Work&Safety Management: [сайт]. URL: <https://www.zyfra.com/ru/product/safety/?mindbox-message-key=7503748495396831236&ysclid=lik2mgbzxd601816136> (дата обращения 06.06.2023).

18. АИС «АЛЬТАН»: [сайт]. URL: <https://v2grp.ru/altan> (дата обращения 06.06.2023).

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТВЕРДОМИНЕРАЛЬНЫХ ИСКОПАЕМЫХ УРАЛА. ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ: СИГНАЛЬНЫЕ ПРОТОТИПЫ И ВЕРИФИКАЦИИ БУДУЩЕГО

ТИМОХИН А. В., ЯКОВЛЕВ А. М., ТИТОВ Р. С., КАНТЕМИРОВ В. Д.

Институт горного дела УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. Цифровая платформа промышленности на Урале (UIDP) – сервис использования части глобального уровня сетевой загрузки [1 и др.]. Но, лучшие формы организации рынков на горных производствах не создают нового уровня прибавочной продукции. В статье раскрываются принципы петрофизической оценки ископаемых с функционалом энергоресурсосбережения, цифровых верификаций – в генерации указанных промпродуктов. Полноценных и реалистичных при сервисах Индустрии 4.0.

Ключевые слова: промышленная оценка ископаемых, цифровизация, индустрия 4.0, энергоресурсосбережение.

DIGITAL TRANSFORMATION OF THE PETROPHYSICAL ASSESSMENT OF THE SOLID MINERALS OF THE URALS. DIGITAL DOUBLES: SIGNAL PROTOTYPES AND VERIFICATIONS OF THE FUTURE

TIMOKHIN A.V., YAKOVLEV A.M., TITOV R. S., KANTEMIROV V. D.

Institute of Mining, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg

Abstract. The digital platform of industry in the Urals (UIDP) is a service for using part of the global network load level [1, etc.]. However, the best forms of organizing markets in mining industries do not create a new level of surplus production. The article reveals the principles of petrophysical evaluation of minerals with the function of energy conservation, digital verifications - in the generation of these industrial products. Full-fledged and realistic with Industry 4.0 services.

Keywords: industrial evaluation of minerals, digitalization, industry 4.0, energy resource conservation.

Введение

Предприятия горнодобывающей отрасли представляют крупнейшие, структурные организации и хозяйствующие субъекты долговременных периодов деятельности на отведенных территориях. Примеры использования технологического багажа Индустрии 4.0, предыстория и современный опыт показывают, что цифровая трансформация и цифровые приобретения – процесс многоэтапный и сложный. Интерес к цифровизации в отрасли можно объяснить прогнозами и подтверждением экономических результатов, так и курсом на ориентиры культуры производства к лучшим, отечественным и международным образцам (/принцип охвата смежников).

В статье излагаются принципиальные подходы петрофизических измерений оценки ископаемых в терминах подготовленности к цифровой трансформации.

Обязательные рамочные позиции пошагового развития специализации оценки с функционалом сбережения энергии и георесурсов: (1) постановка задач при условии не пресечения и не затрагивания деятельности Государственных надзорных органов, чув-

ствительных вопросов безопасности и нормирования [2, 3], (2) задействование инструментов цифровых платформ, организационных структур и сетевых сервисов Индустрии 4.0, (3) сохранение разнообразия формул оксидметрического подхода в интерпретации, цифровой трансформации и транспорте (передаче) цифровых геоданных и визуальных изображений, (4) стабильная результативность на Уральских месторождениях главных продуктивных формаций генезисов в широтной зональности и в сложных и особо- сложных геолого-технических условиях освоения.

Актуальность знаний о сигнальных параметрах на месторождениях нагорного типа (собственные исследования с 2002 г.) определяется, в силу свойств морфологии складчатостей и условий нахождения на Урале географической черте высокой концентрации продуктивных толщ и разнообразия ископаемых. Опору формируемым сигнальным прототипам, полагается, что обеспечит информационное окружение в виде современных примеров цифровизации и сетевых решений. Цифровые двойники – явление погружения предприятий в события внешних организационных форм. Здесь, производства выделяются, как экосистемные объекты. К выгоде построения цифровой экосистемы предприятия относится сохранение территориальной аутентичности, что не исключает участия в глобальном цифровом процессе [4, 5, 6].

Идея цифровой региональной платформы промышленности на Урале (UIDP) оригинальна в перенаправлении авторами [1 и др.] части глобальной сетевой загрузки в интересах региона и на развитие организации рынков на территории УрФО. Вместе с охватом участников цели включают рост транзакций. Планируемый итог в горном секторе – переход к распределенному рациональному использованию добытых георесурсов. Поэтому, обособленных позиций цифровизации геоданных оценки, исключающих глобальные примеры, например, в организационных рамках UIDP, вряд ли следует ожидать (/принцип рынков и профильной специализации). Поскольку, освоение, разработка, товарный оборот и тарификация ценности ископаемых – мировой процесс, выражаемый, как в региональных, так и в глобальных терминах [7, 8].

Результативность базовых прототипов обеспечило выявление сигналов окислов. Использовались – элементный уровень изучения (обзорный этап) и, затем, материалы собственного формата эксплуатационной разведки на основе электрометрии. Предмет изучения на перспективу – константы окислов элементов атомных номеров $z \leq 20$ (40.874 – 43.464 весовых % земной коры). Высокоточные измерения, достигаемые оксид- метрическим уровнем интерпретации – результат выявления устойчивых, стационарных сигналов полупроводников на фоне суммы диэлектриков [9–11].

Конечные цели исследования – показать как и за счет чего цифровая трансформация геоданных петрофизической оценки, как инновационный сервис решения проблемы геологических рисков, позволит преобразовать экономику допусков, нормативов и издержек в экономику энергоресурсосбережения.

Ископаемые в терминах географии Урала, генезисов и оценки

Географическое место твердоминеральных ископаемых на Урале – нагорная меридианальная полоса протяженностью более 2000 км от Южной обширной части до Арктической зоны. Разрезы с Запада и Востока вскрывают осадочные толщи (краевые пенеплены), которые к центру гряды примыкают к магмогенным массивам. Запасы и потенциальное разнообразие ископаемых обеспечивает стабильная повторяемость формаций оксид-минеральных соединений в широтной зональности [12–15].

Анализ свойств сырья на предприятиях, ведущих разработку месторождений осадочного генезиса: углей, известняков, магнезитов и бокситов (фации и формации склоновых пенепленов) и магматических: габбро, асбестов и титаномагнетитов (формации главной гряды), показывает, что мера сортового разнообразия находится в зависимости от вариаций составов окислов элементов атомных номеров $Z \leq 20$.

Ископаемые включают карбонатные химотипы осадочных толщ, плагиоклаз-пироксеновые – магматических. В геологических оценках опробования кернов скважин фиксируются вариации и замещения минеральных составов. Преимущества использова-

ния измерителей состоят в том, что изучается более чувствительный предмет – стационарные сигналы оксид- и микроминеральной гетерогенности.

Как связаны и в каких размерах исчисляются финансовые издержки от недостатков сырьевой оценки, обсуждается относительно недавно. Необходима особая стратегия реагирования на резкие колебания геологических свойств [17, 18].

Технологическая составляющая цифровых экосистем, в большинстве, строится в порядке вброса данных и саморазвития [16, 19- 20, 25- 26]. Но, функционал оценки по замыслу цифровизации направлен на деятельное содействие достижению экономических, организационных, производственных и экологических результатов, включая в сложных и особо сложных геолого-технических условиях [10, 17- 18].

Геоданные специализации сырьевой оценки на основе измерений приняты в виде цифровых экосистем. В анализе цифровых двойников и идентификации сортов есть необходимое и обязательное условие – наличие алгоритмов оксидметрических преобразований. Источники сигналов – агрегации полупроводниковых оксидов. Их рост наблюдается от кислых составов (гранитоиды) до ультраосновных щелочного (монцитонит) и нормально-щелочноземельного (перидотит) ряда магматических пород. В то время как, кварц и полевошпат – установленные диэлектрики (рис. 1).

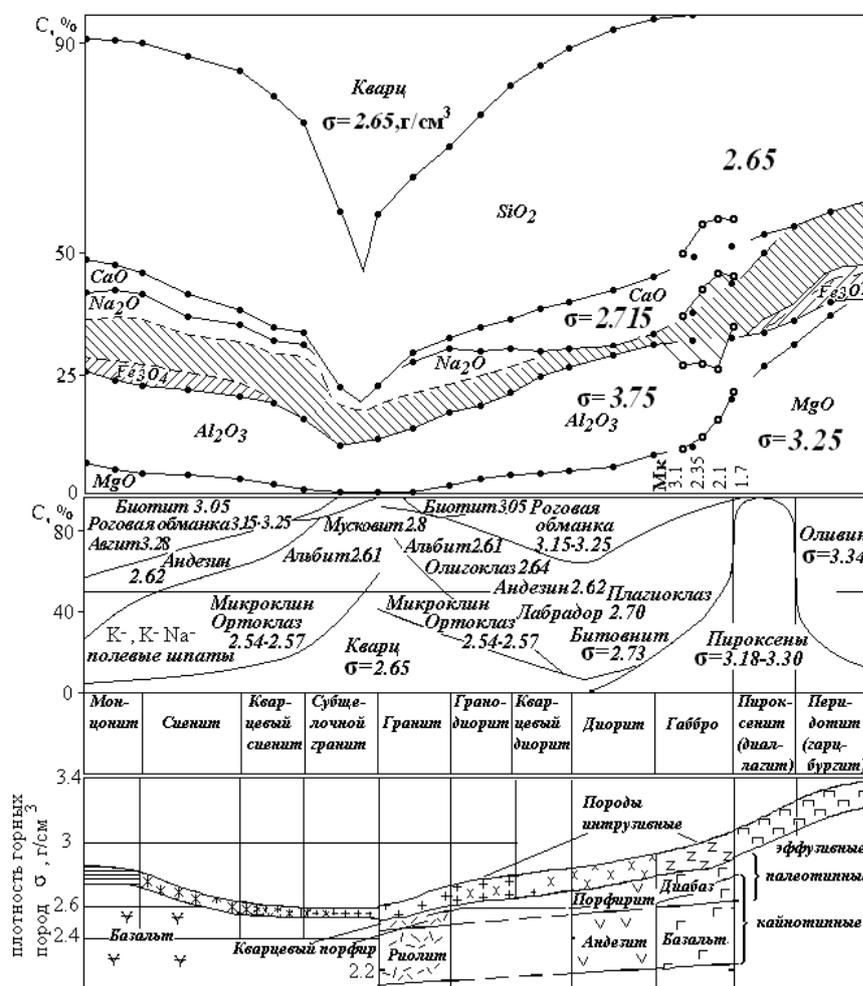


Рис. 1. Цифровые двойники оксид гетерогенности в сигналах плотностей

Экономика геологических рисков

Ископаемое сырье в терминах типологии, групп и назначения различают на: (1) геологические виды (описание выше), (2) технологические типы, (3) технологические сорта [17]. (2) – технологические типы объединяет способ добычи и обогащения, порядок

стадий на производствах. (3) – технологические сорта выделяются из типов (п. 2) для конкретизации эффективных приемов отработки и режимов обогащения.

Изучение химического и минерального состава – традиционные методы оценки, ориентируемые в анализе (1) на условия (2). Пополнение оценки петрофизическими измерениями – план раскрытия роли трансляции цифровых геоданных и визуальных изображений в точки выбора оптимальных горных и обогатительных решений, объединенных целью улучшения координации геотехнологии по сырью (3).

Предприятия вводятся в режим нормирования потерь и разубоживания, исходя из данных экспериментов отбойки и обогащения. Надзорные службы стимулируют безотходные технологии, встречные экспертизы на соответствие лучшим практикам в наиболее полном извлечении. Но, при следовании стандартам экономика находится в зависимости от геологических рисков. Производства генерируют отходы в объемах, кратных добытым из недр. Только их часть является резервом предприятий в товарном обороте – грунты вскрыши и пустые вмещающие породы (скала). Горные массы с остатками промпродуктов, не перешедших в концентраты, складировуются и хранятся (хвосты и техногенные месторождения) – изучаются подходы доизвлечения [10, 15, 18].

Разработка ведется в условиях нежелательной регулярности пересортицы в виде особо связанных между собой угроз рентабельности и избыточных потерь. Неверная оценка при завышении качества ведет к удорожанию добычи и росту энергозатрат, при занижении – к избыточным потерям. Проблема переходных процессов освоения Недр – ухудшение геолого-технических условий. В кризисном положении вопросы энергоресурсосбережения на предприятиях, имеющих в освоении глубинные залежи и удаленные фланги, в переделах труднообогатимые, обедненные ископаемые и упорные продукты, планы доизвлечения из техногенных накоплений [17, 18].

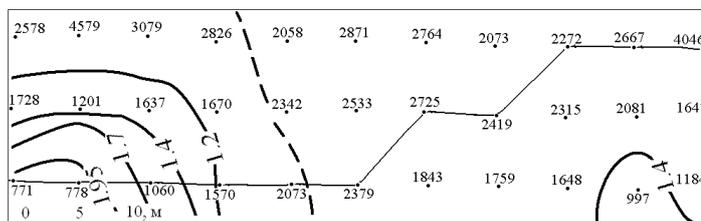
Сигнальные прототипы и цифровые двойники оценки

Выявление сигналов в связи с константами окислов обеспечило формирование высокоточных прототипов оценки [18, 21- 23]. Технолого-аппаратурное развитие намечено в подходах цифровых верификаций и способах трансляции геоданных.

Свойства качества, обогатимости и металлургических кондиций, выделенные на месторождениях, имеют 2 вектора трансляции. 1. На основе обмеров залежей для модерации (передачи) сортовых рисунков разведки, задействуемых для оптимизации схем добычи (операторы координации горных решений). 2. По данным измерений проб горной массы на пунктах перевалки из забоев для модерации (передачи) свойств на линии извлечения (операторы координации по сырью режимов обогащения).

Шаг 1 – Метод контактной электрметрии в виде сервиса регистрации в залежах цифровых карт латерально-глубинных сортовых распределений был реализован за счет выявления свойств триады полупроводниковых окислов Fe, Al, Mg.

Залежь габбро является сырьевой базой производства минераловатных изделий. Металлургические клинкеры корректируются добавками известняка (источник CaO). Оценке служит модуль кислотности M_k (отношение суммы окислов кремния и алюминия к сумме окислов кальция и магния). Кондиции по свойствам плавкости и вспенивания при плавке выражают: высшие сорта с модулем $M_k \geq 1.7$ отн. ед., границы среднего – 1.4, пределы низкого – 1.2. Измеренные рисунки изолиний M_k показали, что неоднороден участок вблизи контакта с серпентинитами (рис. 2, пунктир).



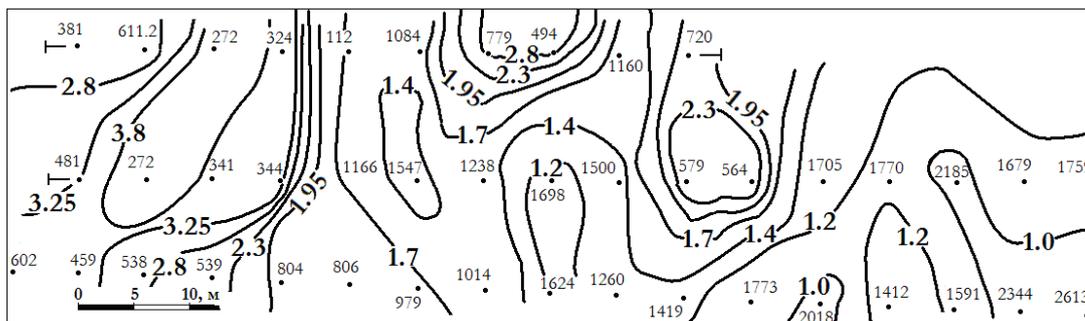


Рис. 2. Цифровые карты оценки габбро (Баженово, залежь Пожарная)

Вопросы энергоресурсосбережения решаются, исходя из обновленных данных о товарном и ценовом потенциале залежи. При отработке блоков высших сортов (модулей) создают резерв известняка, корректируют клинкер и тем,кратно увеличивают объем продукции, оптимально расходуют минеральную базу габбро.

Электрометрия в объемной постановке рекомендована в развертывании на массив геоданных точечной оценки бурения и кернового опробования. И, как сервис сортовых измерений, являясь нашим вариантом эксплуатационной, рудничной разведки, «порождает» следующие собственные цифровые двойники.

Шаг 2 – Прежде всего, по способу частотных зондирований ЧЗ в проведении разведки. При опоре на выявленные сигнальные параметры электромагнитные, бесконтактные методы ЭММ верифицируются в пешеходном варианте измерений, так и с применением подвесных датчиков на беспилотных летательных аппаратах БПЛА. Методика полевых наблюдений и алгоритмы сигнальной интерпретации дают важный для этого задел – маршруты профилей ЭММ и латерально-высотные траектории БПЛА в условиях эксплуатационного рельефа внутрикарьерного пространства.

Руды асбеста в категориях качества имеют 4 структурно-минералогических литотипа: 1- некондиционные (нс), 2- мелкой сетки (мс), 3- отороченные жилы (ОЖ), 4- крупной сетки (КС). В ходе измерений и оксидметрической интерпретации получены цифровые выражения сортовых распределений с выделением 11 химотипов руды. На технологических разрезах от вмещающих пород и нс к рудам: мс, ОЖ и КС химотипы расцветены в зеленых, оранжевых, розовых и красных тонах (рис. 3).

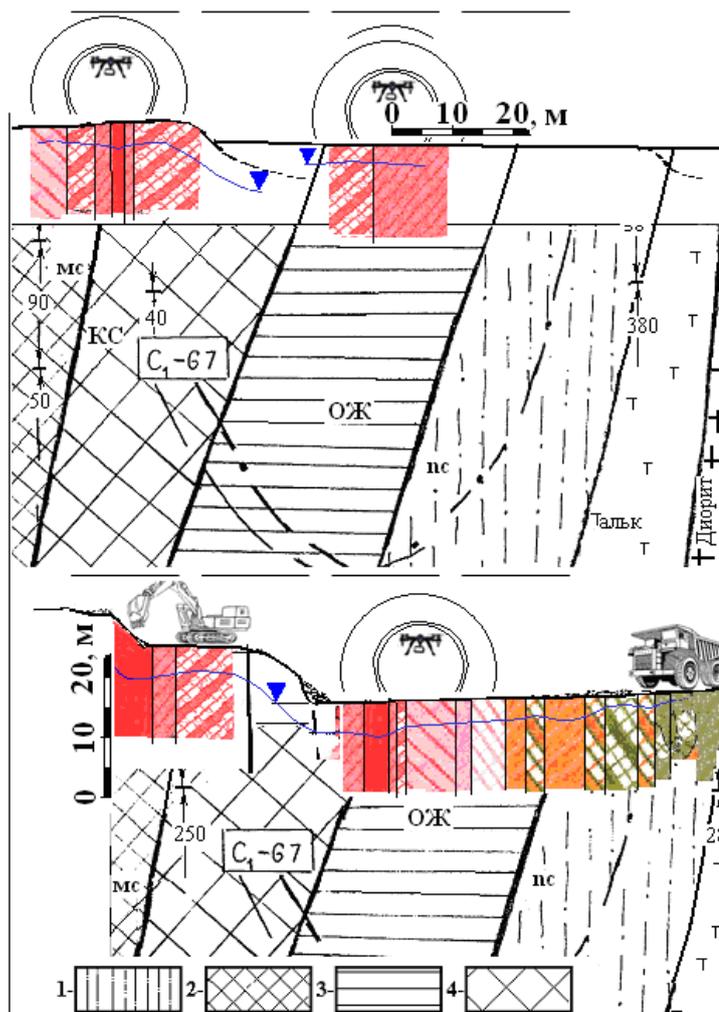


Рисунок 3. Пример цифровых двойников ЭММ (Баженовское месторождение)

Функционал цифровых двойников разведки воплощается в измерениях сортовых данных, начиная с геометрии их распределения в Недрах. Раскрытие элементного и товарно-сортowego потенциала залежей – гарантии координации технологического и экономического планирования на сезонный период: зима–лето и на перспективу – 3–20 лет и более. Для выбора сети карьерного транспорта используются участки выхода бедных и вмещающих комплексов. Фронт и оптимальные приемы добычи определяются, исходя из параметров залегания лучших товарных сортов (см. рис. 3).

Шаг 3 – Оценка по анализу составов на контрольных пунктах перевалки и обогащения – прием получения геоданных для координации режимов переработки.

В производстве железа в настоящее время используются титаномагнетитовые руды. В сравнении с легкообогатимой магнетитовой рудой им свойственны: понижение обогатимости и меньший выход промпродуктов сепарации. В связи с реалистичностью мировых прогнозов истощения и переходных процессов освоения Недр следует ожидать, что основной объем добычи будет, в скором времени, приходиться на разработку оруденений титаномагнетитовых технологических типов [24].

Соотношения составов триады полупроводниковых окислов Fe, Al, Mg – факторы формируемой магнетизации. Вычисления ведутся в постановке «обратных физических задач» в сравнении с алгоритмами разведки (п. 1, 2). При изучении составов габбро (19 проб) был получен графический рисунок изолиний магнитной восприимчивости (10^{-5} Ед. СИ) в интервале МВ от 672 до 1317, который, в силу аналогичности по составу, следует принять прототипом оценки хвостов обогащения сухой и мокрой магнитной сепарации

СМС и ММС, не перешедших при обогащении из руды в промпродукты и концентраты железа (рис. 4).

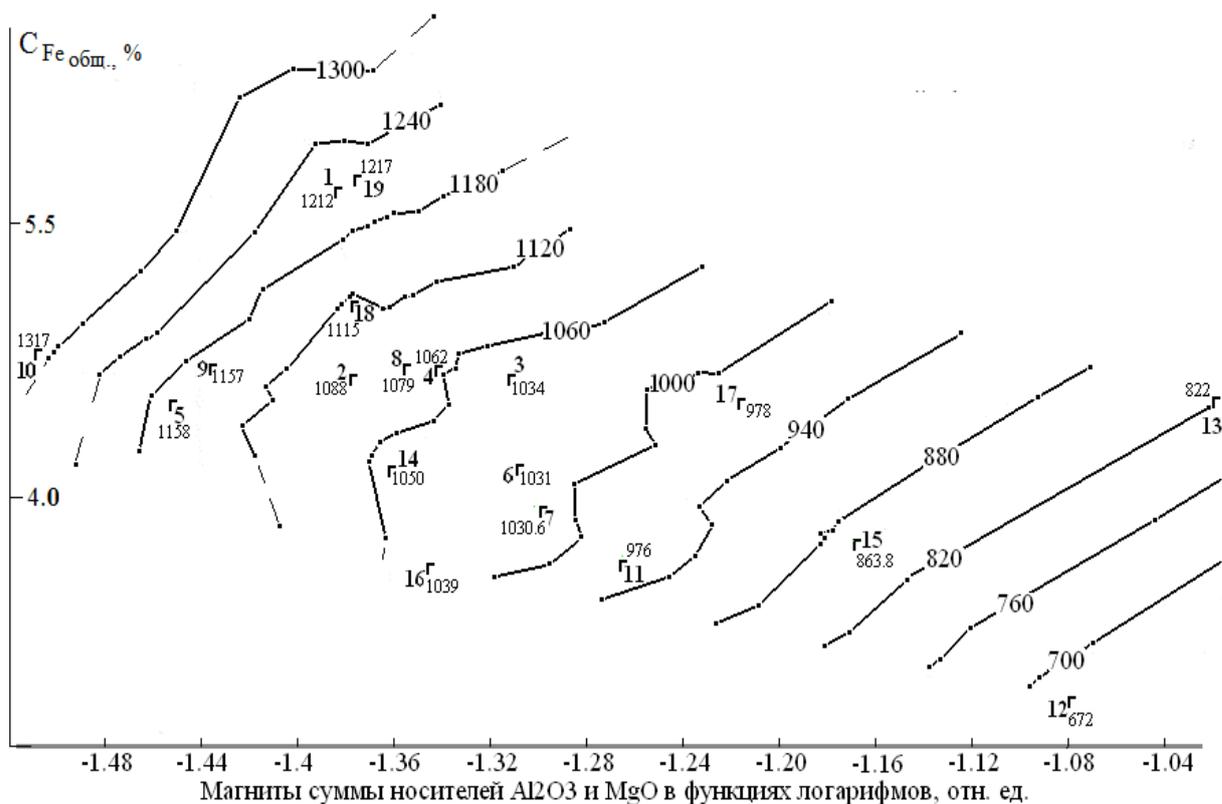


Рис. 4. Цифровые двойники магнетизации (обогащаемости) хвостов сепарации

Сортовой анализ неоднородных, бедных и труднообогащаемых ископаемых, упорных продуктов, хвостов и масс техногенных накоплений – сложные и особо сложные геолого-технические условия промышленной оценки. Но, в предложенных кросс-алгоритмах и верификациях сигнальных оксидметрических подходов – это, напротив, предмет успешности функционала цифровой трансформации.

Заключение

Выделяемый предмет исследования в петрофизической специализации оценки – сигнальная дифференциация стационарных свойств, добротнo фиксируемая датчиками и измерителями. Обзор мирового состояния исследовательских процессов в данной области показывает, что возникновение аппаратуры на революционных физических принципах крайне маловероятно. Потенциал к развитию связывается с минимизацией размеров процессоров и элементной базы полупроводниковых датчиков. Поэтому, выбран актуальный подход – оснащение алгоритмами сигнальной математики в пакете с аппаратурой на известных принципах, накопление практической базы геоданных оценки и опыта верификаций в 2 векторах трансляции.

Поставленные задачи цифровой трансформации полагаются решать на основе лучших прототипов технолого-аппаратурных верификаций оценки, переводя часть энергоёмкости и избыточные потери из разряда издержек в прибавочные продукты. Как показано нами в публикациях тематики [21, 22, 23] не затраченные энергетические мощности и доизвлеченные промпродукты – ценности, полученные в примерах оценки на месторождениях Урала главных формаций нагорных генезисов. Второй аспект – растущая в Индустрии 4.0 подготовленность рынков и сетевых возможностей к новому уровню прибавочной продукции и информационных решений в структурах внутренней организации предприятий, занятых в Недропользовании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акбердина В. и Барыбина А. (2021). Предпосылки и принципы цифровой платформизации экономики. Конспекты лекций по информационным системам и организации, 44, 37-48. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73261-5_4
2. Типовые методические указания по нормированию потерь твердых полезных ископаемых при добыче / Госгортехнадзор СССР. М., 1972, 154 с.
3. Агошков М. И. (1970) Основные показатели полноты и качества извлечения полезных ископаемых из недр при добыче. М.: СФТП ИФЗ АН СССР, 39 с.
4. Бенитес Г. Б., Айала Н. Ф. и Фрэнк А. Г. (2020). Инновационные экосистемы индустрии 4.0: эволюционный взгляд на совместное создание ценности. Международный журнал экономики производства, 228, 107735. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107735>
5. Аднер Р. и Капур Р. (2010). Создание ценности в инновационных экосистемах: как структура технологической взаимозависимости влияет на производительность фирм в новых поколениях технологий. Журнал стратегии и менеджмента, 31, 306-333. <https://doi.org/10.1002/smj.821>
6. Никитаева А. Ю., Сердюков Р. Д. и Федосова М. Н. (2021). Региональные факторы развития цифровых экосистем промышленных предприятий. Региональная экономика. Юг России, 9(3), 100-112. (на русском языке). <https://doi.org/10.15688/re.volsu.2021.3.9>
7. Столлкамп, М., & Шоттер, А. П. Дж. (2019). Платформы без границ? Международные стратегии фирм, работающих на цифровых платформах. Журнал глобальной стратегии, 11, 58-80. <https://doi.org/10.1002/gsj.1336>
8. Стейнберг М. & Ли. Дж. (2017). Введение: Региональные платформы. Азиатский ландшафт: Цифровая Азия, 4 (3), 173-183. <https://doi.org/10.1163/22142312-12340076>
9. Шуй Р. Т. (1979) Полупроводниковые рудные минералы. Л.: Недра, 288 с.
10. Адамов Э. В., Алексеева Т. И., Андреев Е. Е. (1990) Технологическая оценка минерального сырья: Справочное пособие / Под ред. П. Е. Остапенко. М.: Недра, 264 с.
11. Петрофизика (1992): Справочник. В трех книгах. Книга первая. Горные породы и полезные ископаемые / Под ред. Н. Б. Дортман.- М.: Недра, - 361 с.
12. Trewin N. H., R. G. Davidson (1999) Lake-level changes, sedimentation and faunas in a Middle Devonian basin-margin fish bed. Journal of the Geological Society, № 156 (3). 535–548 p. <https://doi.org/10.1144>
13. Алексеев В. В., Гаврилов Д. В. (2008) Металлургия Урала с древнейших времён до наших дней. М.: Наука. 886 с.
14. Пучков В. Н. (2018) Плюмы – новое слово в геологии Урала. Литосфера, 18(4), 483-499.
15. Душин В. А. (2017) Магматизм и металлогения поперечных структур Уральского севера. Известия УГГУ, 3(47), 7 – 16.
16. Гобахлу М., Фатхи М., Иранманеш М., Маруфхани П. и Моралес М. Э. (2021). Индустрия 4.0 десять лет спустя: библиометрический и систематический обзор концепций, факторов, определяющих ценность устойчивого развития, и факторов, определяющих успех. Журнал более чистого производства, 302, 127052, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127052>
17. Кантемиров В. Д., Яковлев А. М., Титов Р. С., Тимохин А. В. (2022) Совершенствование методов рудоподготовки минерального сырья при освоении сложноструктурных месторождений. Горная промышленность.: (15) : 63–70. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-15-63-70>
18. Яковлев В. Л. (2019) Исследование переходных процессов – новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов. Екатеринбург, УрО РАН, 284 с.
19. Хайн А., Шрайек М., Риасанов Т. и др. (2020). Экосистемы цифровых платформ. Электронные рынки, 30, 87-98. <https://doi.org/10.1007/s12525-019-00377-4>
20. Муртья, Р. К., и Мадхокб, А. (2021). Преодоление проблемы возникновения экосистемы цифровых платформ на ранней стадии: перспектива решения проблем. Журнал управленческих исследований, 58(7). <https://doi.org/10.1111/joms.12748>
21. Тимохин А. В. (2021) Метод геометризации параметров засоряющих пород в массиве известняка на основе геофизических исследований Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). № 5-1. С. 162-176.
22. Тимохин А. В., Титов Р. С., Козлова М. В. (2021) Руды магнетитов и бокситов как петрофизические объекты спектрально- сортовой оценки на основе электрометрии (из архивов оксид- метрической разведки на месторождениях Урала) Литосфера. Т. 21. № 3. С. 431-443.
23. Тимохин А. В., Кантемиров В. Д., Титов Р. С., Яковлев А. М. (2020) Исследование спектральных, обменных сигналов измерительной петрофизики на массивах хризотиласбеста и

- титаномагнетита для сортового картирования (из архивов электрометрической оценки магматических месторождений Урала) Проблемы недропользования, 3 (26), 61-71.
24. Фоминых В. Г. (1987) Петрология и рудогенезис Качканарского массива / В. Г. Фоминых, В. П. Краева, Н. В. Ларина. Свердловск: УНЦ АН СССР. 84 с.
25. Мюллер, Дж. М. (2019). Предшествующие использованию цифровой платформы в Индустрии 4.0 известными производителями. Устойчивое развитие, 11, 1121. <https://doi.org/10.3390/su11041121>
26. Боссерт, О. (2016). Двухскоростная архитектура для цифрового предприятия. Новые тенденции в эволюции сервис-ориентированных и корпоративных архитектур (стр. 139-150).

АСПЕКТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИНЖЕНЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

БАБИЧ В. Н., ШАНГИНА Е. И., СИРАЗУТДИНОВА Н. Б.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

Аннотация. Общая концептуальная характеристика информационного моделирования включает в себя его описание как интегрального процесса взаимодействия базовых составляющих, характеризующих различные виды, способы или формы формализованного представления модельного описания объекта познания, с позиции системного подхода включая целостность, иерархическую организацию, целевую адаптацию, процессуальные характеристики; включая сбор необходимой информации, в соответствии с поставленной целью, определяющей информационную модель исследуемого объекта, включает в себя обработку полученных данных, их организацию, и алгоритм преобразования этих данных, выполнение геометрических построений/преобразований. Оптимизация выбора модели решения определяется способом описания объекта, ее исходными данными, условиями/ограничениями, поставленной целью (с выбором критерия оценки конечного результата), имеющимися средствами решения (включая уровень компетентности субъекта и его технические возможности).

Ключевые слова: информационное моделирование, системный подход, формализация, аспекты, оптимизация, управление, прогнозирование, факторы.

ASPECTS OF THE INFORMATION COMPONENT OF ENGINEERING MODELING

BABICH V. N., SHANGINA E. I., SIRAZUTDINOVA N. B.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

Abstract. The general conceptual characteristic of information modeling includes its description as an integral process of interaction of basic components. These basic components are characterized by various types, methods or forms of formalized representation of the model description of the object of knowledge, from the standpoint of a systematic approach, including: integrity; hierarchical organization; target adaptation; procedural characteristics. Also, the object of knowledge is described in terms of collecting the necessary information, in accordance with the goal that determines the information model of the object under study. The information model includes the processing of the received data, their organization, and the algorithm for transforming this data, including the execution of geometric constructions (transformations). Optimization of the choice of a model for solving the tasks set is determined by: the method of describing the object; initial data of the model; given conditions (restrictions); the set goal (with the choice of criteria for evaluating the final result); available means of solving the tasks set (including the level of competence of the subject and its technical capabilities).

Keywords: information modeling, system approach, formalization, aspects, optimization, control, forecasting, factors.

Информационное моделирование объекта проектирования – это сложноорганизованный процесс построения формализованного образа объекта на основе

обработки и анализа системно обоснованного информационного массива. Полученный системно обоснованный информационный объект отображает пространственные, морфологические, структурные, коммуникационные и процессуальные аспекты организации и функционирования объекта, с помощью интеграции процедур математической формализации, геометризации и информационно-технологической поддержки для решения задач проектирования, оптимизации, визуализации, управления. Таким образом, необходимо подчеркнуть, что процесс проектирования выполняется как информационное моделирование объекта, как процесс создания визуализируемой модели объекта на базе системного описания характеризующих объект зависимостей, связей и отношений, геометризации объекта на базе системного описания и информационной оболочки, реализуемой в соответствующей программной среде используемых программно-аппаратных средств.

С момента получения исходных данных проектного задания инженер-проектировщик организует сбор информации об исходной ситуации – исходных данных для начала работы, достаточных для понимания сущности этого задания, инициации творческого процесса создания инженерного объекта. Продуктивность этого процесса определяется профессиональными, т. е. интеллектуальными усилиями и пространственным воображением автора.

Умственная работа инженера-проектировщика включает в себя стремление решить задачу, что, безусловно, дает толчок его мыслям. Когда поставленная задача полностью овладевает решающим, он становится рассеянным, забывает о своем самом необходимом. Следовательно, внимание автора решающего задачу становится избирательным, он издалека видит мельчайшие детали, имеющие отношение к решению поставленной задачи. Это направленное, настороженное внимание определяет направленность мышления. Известно, что инженер-проектировщик, как правило, ощущает близость решения и скорость продвижения к конечной цели. Он ясно чувствует: «решение где-то рядом» или наоборот «нет никакого прогресса» [1].

В момент решения задачи приходится строить догадки или выдвигать гипотезы. Как правило, у инженера-проектировщика возникает ощущение предвидения. Если подобные ощущения не возникают, это означает отсутствие интереса к решению поставленной задачи.

Следует определить область поиска решения задачи. Целесообразно начинать поиск в ограниченной области, а если его нет, то следует принимать решение о расширении области поиска решения, об отбрасывании ограничения, узость которого начинает мешать.

Мобилизация и организация: когда инженер-исследователь приступает к созданию проекта, картина проста, он видит ее без всяких подробностей, и различает только главные ее части – неизвестное, исходные данные и условие, предпосылку и заключение. Картина же, которую он видит в конце, совсем другая: она сложна, снабжена такими дополнительными подробностями и деталями, о связи которых с проектом исследователь вначале не подозревал. При последующей работе над проектом, появляются дополнительные подробности, вспомогательные неизвестные, будут использоваться знания, приобретенные автором ранее, имеющие отношение к проекту. Дополнительные материалы исследователь накопил в своей памяти, и теперь ему предстоит извлечь их оттуда и целенаправленно приспособить их к своему проекту. Такое привлечение сведений принято называть мобилизацией, а их приспособление к данному проекту – организацией.

Процесс создания проекта подобен строительству дома. Сначала собирается необходимый материал, но куча материалов – это еще не дом. Чтобы построить дом или выполнить проект, необходимо сложить все части вместе и организовать их в целое. Мобилизацию практически нельзя отличить от организации; они дополняют друг друга как аспекты единого, сложного процесса – процесса работы ума, конечной целью

которого является искомое решение. Вероятно, здесь следует выделить некоторые операции из всего многообразия умственной работы, являющихся их элементами и описать в таких терминах как изоляция и комбинация, распознавание и вспоминание, перегруппировка и пополнение.

При изучении задачи проектирования/исследования внимание инженера-исследователя могут привлекать различные детали. Когда фокусируется внимание на какой-либо детали, она выделяется из окружения – таким образом, изолируется. Затем внимание автора снова переключается и выделяет другую деталь и т. д.

После изучения ряда деталей, производится соответствующая их переоценка, возникает потребность переоценки всей ситуации в целом. Интеграционный эффект переоценки роли некоторых деталей может вылиться в новую мысленную картину общей ситуации, новую, более гармоничную ситуацию всех элементов. Таким образом, изоляция и комбинация, дополняя друг друга, могут продвинуть процесс решения задачи проектирования объекта. Изоляция деталей приводит к раскладу целого на части, а последующая комбинация их снова объединяет в целое, отличающееся от исходного состояния. Разлагая целое на составные части, а затем, воссоединяя их по-иному, применяя эту операцию многократно (итерация), переходим к более перспективной ситуации.

Распознавание элемента может побудить к вспоминанию чего-то полезного для решения поставленной задачи проекта, к мобилизации относящихся, к рассматриваемому вопросу сведений.

Пополнение и перегруппировка. Предположим, что инженер-исследователь распознал в исходных данных элемент, который имеет некоторые шансы оказаться полезным в данной ситуации. Чтобы применить эти знания на практике, необходимо слегка видоизменить этот элемент. Таким образом, мобилизованные автором потенциально полезные элементы, могут обогатить идею, придать ей более перспективный вид, ликвидировать пробелы, устранить ее недостатки, т. е. пополнить ее.

Аналогичное пополнение приносит с собой новый материал в понимание задачи и является важным фактом в ее организации. Иногда удается добиться положительного результата и без добавления нового элемента за счет лишь одного изменения расположения имеющихся элементов, путем другого расположения элементов относительно друг друга, т. е. за счет изучения соотношений между ними в новой диспозиции, путем перестановки или их перегруппировки. Таким образом, перегруппировка означает изменение структуры.

Перегруппировка может повлечь за собой изменение акцента в нашем понимании проблемы. Элементы и соотношения, стоящие ранее на переднем плане, могут отойти на задний план и даже временно могут выпасть из процесса решения. Однако в процессе решения задачи проектировщик больше добавляет, чем отбрасывает

Современный этап развития инженерного проектирования определяется, прежде всего, влиянием возросших требований безопасности, а также экологичности объектов, с учетом взаимосвязей с внешней средой. Качество проектного решения объекта (узла, механизма) зависит, прежде всего, от данного вида инженерного проектирования. Факторы влияния на инженерную практику накладывают на инженера-проектировщика глубокое и разностороннее овладение самыми современными приемами творческого мастерства автора, техническими знаниями/умениями, а также интеллектуальной составляющей [2]. Таким образом, в инженерном проектировании используются научные, инженерно-технические знания, что позволяет выбирать, с позиций системного подхода, конструктивную схему и ее решение исходя из технического замысла, а также анализировать предлагаемую проектную модель по различным критериям (экономическим, конструктивным, функциональным), осмысливать ее эстетические качества, выраженные во внешнем и внутреннем виде проектируемого объекта.

Рассмотрим образовательный аспект инженерной деятельности, когда инженер-проектировщик направляет работу специалистов разных профилей, в процессе выполнения проектного задания и его реализации (от создания проекта до его реализации). Это требует от исследователя не только профессиональных знаний и умений, но и широкой эрудиции, для обеспечения понимания всего комплекса взаимосвязанных, но разноплановых вопросов при выборе конструктивных решений. В этом случае интуиция инженера-проектировщика, определяющая концептуальный замысел, определяется собственным базисом, формирующимся в результате освоения совокупности такой информации [3].

Осмысление рассматривается как активная мыслительная деятельность, как совокупность психических процессов сознательного характера, побуждаемая определенной мотивацией, обеспеченной достаточным запасом знаний и интеллектуальным потенциалом, направленной на конкретный объект информационного познания, включая теоретические и практические новации. Структурная схема процесса познания «осмысление – результат» включает аспекты осмысления и его возможные результаты по отношению к продуктивности использования с позициями, характеризующими глубину понимания информации какие как:

- Новые знания.
- Новые практические возможности, включая в собственную практику информацию изученных практических новаций.
- Новые идеи, методики, подходы, т. е. творческое развитие осмысленной информации.
- Отсутствие творческого предназначения, включая поверхностное знание, реферативное ознакомление с ситуацией.

Осмысление включает в себя наряду с психологическими аспектами и другие (мотивационные, образовательные, технологические).

Рассмотрим подробнее психологические аспекты инженерного творчества.

Психология творчества включает в себя совокупность психических процессов, обуславливающую творческую деятельность. При этом творчество связано, прежде всего, с личностными характеристиками и определяется как сложноорганизованный процесс, включая стадии подготовки, созревания, озарения и проверки продукта творческой деятельности. Оно предполагает наличие у исследователя способностей, мотивов, знаний и умений, благодаря которым создается новый продукт, отличающийся от аналога новизной, оригинальностью, другими словами инновационный продукт. Изучение этих свойств личности выявило важную роль воображения, интуиции, интуитивных компонентов умственной деятельности, а также потребности инженера-исследователя в самоактуализации, в раскрытии и расширении своих созидательных возможностей [4].

Осмыслить – это значит обдумать, уяснить, понимать.

Осмысленность – свойство восприятия существующее на уровне сознания и характеризующее личностный уровень восприятия, - свойство приписывать воспринимаемому объекту или явлению определенный смысл, обозначать его словами, относить к определенной языковой категории [5]

Осмысление – процесс когнитивный (познавательный).

Работа с информацией, ее переработка, встраивание в структуру личностного мировоззрения и мировосприятия происходит с активным использованием ранее усвоенных знаний. Эффективность подобной переработки определяется уровнем профессиональной подготовки инженера-исследователя. Таким образом происходит эволюционный рост автора, его развитие интеллектуальных возможностей. В процессе работы сознания (прилагая при этом определенные волевые усилия) на поставленной задаче и поисках новых путей решения происходит подключение сознания к накопленному (общему) объему знаний инженера-исследователя т. е. к его памяти.

Результатом усвоения такой полученной информации являются новые суждения и умозаключения гипотезы, идеи, концепции, научные результаты.

В процессе осмысления исследуемого материала задействованы память и мышление.

Память – форма психического отражения, заключающая в закреплении (запоминании), сохранении и последующем воспроизведении человеком прошлого опыта, делающая возможным его повторное использование в деятельности или возвращение в сферу сознания. Память связывает прошлое субъекта с его настоящим и будущим и является важнейшей познавательной функцией, лежащей в основе развития, обучения и трудовой деятельности [6].

Человеческая память обеспечивает накопление информации о внешней среде, служит основой приобретения знаний, умений и навыков и их последующего использования. Сохранение опыта создает возможность для обучения человека и развития его психики (восприятия, мышления, речи и т. п.) [7].

Мышление – это психический познавательный процесс опосредованного и обобщенного отражения действительности, связанного с абстрагированием тех или других свойств, отношений от конкретного предмета исследований. При этом исследователь опирается на данные опыта, сохранившиеся в его памяти, использует ранее усвоенные знания, в которых отражены связи, отношения и закономерности внешней среды (окружающего мира).

Инженерная деятельность включает в себя творческий процесс создания технического проекта. При этом каждого инженера-исследователя отличает творческая индивидуальность, свой творческий подход к решению инженерных задач. «В каждой следующей задаче инженером-исследователем конструируются приемы, соответствующие индивидуальному пониманию проектной ситуации» [8]. Продолжается поиск решения, наиболее отвечающего поставленной задаче искомого результата.

Интенции инженера-проектировщика находят выражение в основных целях и задачах.

Интенция (лат. *Intentio* – намерение, стремление) – направленность сознания, мышления на какой-либо предмет; направленность мыслительной деятельности человека на решение какой-либо задачи, на познание какого-либо объекта [9]. Основными факторами, оказывающими влияние на направленность сознания человека, являются мотивированность, эмоциональность, и когнитивно-познавательные способности.

Проектные интенции характеризуют формирование представлений об объекте в мышлении инженера-проектировщика и неразрывно связаны с замыслом заказчика. Осмысление идей и задач проектной работы приводит к ограничению числа возможных решений (направлений) проектного поиска, последующему отбору наиболее перспективных и максимально необходимых вариантов решений для проектанта.

При решении проектной задачи в процессе осознания инженер-исследователь пытается выразить свой замысел посредством образного представления проектируемого объекта. Исследователь мыслит инженерными, техническими образами. Творческому мышлению инженера-исследователя свойственна метафоричность – символическое значение представляемого объекта выражаемого метафорой, смысл которой определяется в соответствии с идейным замыслом автора.

Визуализация проектируемого объекта в виде эскизов, макетов, моделей сопутствует мыслительному процессу инженера-исследователя, а последовательность сформированных представлений раскрывает движение мысли от предпроектного исследования к выбранному проектному решению.

«Процесс визуализации – это свертывание мыслительных содержаний в наглядный образ; будучи воспринятым, образ, может быть, развернут, и служит опорой адекватных мыслительных и практических действий» [8].

Современные IT-технологии позволяют реализовать различные инженерные концепции в виде визуализации, путем создания 3D модели проектируемых объектов. Это дает весьма полное и наглядное представление о свойствах/характеристиках будущего объекта.

Цель проектной деятельности – создание нового проектного продукта. Такие действия в проектировании продукта требуют осмысления, понимания проблемной ситуации.

«Проектное мышление это инновационный тип мышления, связанный со способностью проектанта отчетливо представлять себе не только, что и как должно быть сделано (проблемный и предметно-преобразующий компоненты), но и каким образом это «что» и «как» будет развиваться во времени и в пространстве» [8].

Проектное мышление обладает такими базовыми качествами как креативность и интеллект. Креативность или способность к творчеству характеризуется созидательным началом. Креативное мышление – это, прежде всего, поиск, генерация идей. С ним связано воображение проектанта, предполагающее возникновение новых образов, на основе базовых, направленное изменение образов, оперирование ими.

Интеллектуальные возможности инженера определяются способностью мыслить логически, анализировать и решать задачи, выходящие за пределы собственного опыта, а также использовать полученные знания и накопленный опыт.

К интеллектуальным особенностям инженерного мышления/творчества относятся:

- Системность – комплексный подход к решению проектной задачи, включающий всесторонний подход и учет конкретных условий и исходных требований функциональных, конструктивных, а также экономических, экологических, инженерно-технических аспектов, отражающий взаимосвязанность всех обстоятельств, в проекте, целостность инженерного решения, многофакторность и многоаспектность проектной работы.

- Прогностичность – форма предвидения, обеспечивающая предвидение ситуации проектирования, ее возможные проектные проблемы, условия их возникновения, выражающая предположительную оценку будущего состояния проектируемого объекта, отражающая понимание перспективы данного проекта, а также предвидение возможных последствий реализации проекта.

- Конструктивность, определяющая целенаправленное построение и формирование в идеальной форме проектируемого объекта, его целостное представление, понимание его конструкции, осуществляемое посредством виртуального комбинирования различных элементов проектируемой конструкции, их подбора и связывания в новый объект в соответствии с концептуальной конструктивной и технико-технологической целесообразностью.

Таким образом, продуктивность применения полученного опыта определяются интеллектом, а преобразование этого опыта связано с креативностью, способностью к творчеству. Авторская рефлексия, осмысление, понимание цели и стратегии ее достижения являются компонентами творческого поиска.

Творческое мышление требует постоянного осознания и пересмотра авторского знания абстрактно-логических форм, представлений и принципов, использование которых ведет к стереотипности мышления, к утрате творческой составляющей по отношению к каждой конкретной ситуации, задаче, проблеме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пойа Д. Математическое открытие. М.: Наука, 1970. 452 с.
2. Медведев В. А. Проектное мышление: основные признаки и этапы развития // Глобальная конференция по технологиям в образовании EdCRUNCHUral: новые образовательные технологии в вузе – 2019: сборник статей участников конференции (Екатеринбург, 24-26 апреля). Екатеринбург: ИТОО УрФУ, 2019. С. 102–107.– URL:

http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/74051/1/edcrunch_2019_018.pdf

3. Кармазин Ю. И., Капустин П. В. Методологические основы культуры проектного мышления. Методические указания и рекомендации. Воронеж: ВГАСУ, 2001. 43 с.
4. Большая психологическая энциклопедия. URL: <https://psychology.academik.ru/2532/творчество>.
5. Словарь практического психолога / сост. С. Ю. Головин. Минск: Харвест, 1998. М.: АСТ, 2003. 301 с.
6. Рубинштейн. С. Л. Основы общей психологии. СПб: Изд-во «Питер», 2000. 712 с. (Серия: Мастера психологии).
7. Психологический словарь / под. Ред. В. П. Зинченко, Б. Г. Мещерякова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Педагогика-Прес, 1999. 440 с.
8. Степанов А. В., Иванова Г. И. Архитектура и психология: учеб. Пособие для академического бакалавриата. 2-е изд. М.: Изд-во Юрайт, 2018. 355с. (Серия: Авторский учебник).
9. Захаренко Е. Н., Комарова Л. Н., Нечаева И. В. Новый словарь иностранных слов. М.: ООО Исследовательский центр «Азбукович», 2008. 1040 с.

**СЕТЕВОЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СРЕДСТВАМИ
ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ГОРОДЕ
ЦИНХУАНГДАО (КИТАЙСКАЯ НАРОДНАЯ РЕСПУБЛИКА)**

ЛАПТЁНОК С. А.¹, СЯ ВЭЙ¹, КОЛОГРИВКО А. А.¹, РОДЬКИН О. И.²

¹Белорусский национальный технический университет, Минск

²Международный государственный экологический институт
им. А. Д. Сахарова БГУ, Минск

Аннотация. Представлены результаты сетевого пространственного моделирования в целях оптимизации маршрутов движения автомобильного транспорта в процессе рутинной транспортной работы, специального транспорта экстренных служб и оптимизации размещения пунктов обслуживания.

Ключевые слова: сетевое пространственное моделирование; рутинная транспортная работа; оптимизация маршрутов движения; оптимизация зон обслуживания.

**NETWORK SPATIAL MODELING BY MEANS OF GEOGRAPHICAL
INFORMATION SYSTEMS IN QINGHUANGDAO CITY (PEOPLE'S REPUBLIC
OF CHINA)**

LAPTYONOK S. A.¹, XIA WEI¹, KOLOGRIVKO A. A.¹, ROD'KIN O. I.²

¹Belarusian National Technical University, Minsk

²International State Ecological Institute
named after A. D. Sakharov "Belarusian State University", Minsk

Abstract. The results of network spatial modeling are presented in order to optimize the routes of road transport in the process of routine transport work, special transport of emergency services and optimization of the location of service points.

Keywords: network spatial modeling; routine transport work; optimization of traffic routes; service area optimization.

The last decades are characterized by intensive growth of production all over the world and the associated increase in the number of vehicles and the intensification of their use. In this regard, there is also a significant increase in the contribution to atmospheric pollution by pollutants contained in the exhaust of internal combustion engines. There are currently over 500 million vehicles in use worldwide. Road transport accounts for more than half of all harmful emissions into the environment, which are the main source of air pollution, especially in large cities. On average, with a run of 15,000 km per year, each car burns 2 tons of fuel and about 26 - 30 tons of air, including 4.5 tons of oxygen. As a result of the combustion of liquid fuels, according to various estimates, from 180 to 260 thousand tons of lead are emitted into the air annually, which is 60 to 130 times greater than the natural release of lead into the atmosphere during volcanic eruptions (2 - 3 thousand tons per year). The current situation requires the adoption of urgent measures aimed at reducing the burden on the environment.

Reducing the level of air pollution by vehicle emissions can be achieved by the following measures:

- reducing the number of vehicles produced and operated, which is not possible under conditions of intensive industrial development;
- reducing the intensity of transport operation, where possible;
- optimization of transport routes.

Route optimization is a measure that provides a number of effects: economic, environmental, ergonomic, etc. Due to the reduction of the vehicle mileage, the mileage is reduced, and, consequently, the fuel consumption and depreciation are reduced, the engine life is saved, the amount of emissions into the atmosphere of pollutants contained in exhaust. Thus, route optimization can have a significant positive impact on the overall situation both locally, regionally and globally.

Geographic information systems (hereinafter referred to as GIS) in the process of their development have evolved from automated mapping systems to full-featured geographically deployed information systems. Currently, GIS tools are used to inventory natural and labor resources, plan healthcare and public services networks, develop cities, design oil pipelines and highways, develop environmental measures and analyze election results, and solve a wide range of scientific and practical problems. The main purpose of GIS is to provide the user with reliable and adequately processed information for solving managerial and analytical problems in a visual form that is convenient for operational analysis. In all industrialized countries, hundreds of GIS of various purposes have been created: land, cadastral, municipal, resource, environmental, oceanographic, navigation, etc. At present, the main task is the development of GIS and operational automated mapping, coordination of programs for obtaining, processing and distributing geoinformation, creating GIS networks, improving supporting hardware and software. Currently, GIS act as a means of systemic and targeted accumulation of information and environmental management. The development and progress of GIS technologies is largely associated with telecommunication networks that provide a wide range of users with access to geoinformation resources. The combination and interaction of means of telecommunications, geoinformatics and automated mapping greatly enhances their effectiveness and significantly expands the scope. Since on a global scale the development of GIS technologies is dominated by trends towards enlargement, integration and globalization of end products, the purpose of this work was to evaluate the effectiveness of applying spatial analysis methods using GIS tools on a “desktop” scale, i.e. in terms of the possibility of creating small user applications by a wide range of users who do not have special training in the field of GIS technologies.

Optimization modeling of technological transport routes during routine transport work. As an object of optimization, the route of technological transport was chosen, which ensures the delivery of products from the manufacturer to a number of consumers in the city Qinhuangdao.

Using the ArcView 3.2a toolkit, a vector spatial model of a part of the territory of the city of Qinhuangdao was built. Using the Network Analyst module, network problems were solved to determine the best routes under interactive conditions - changing the directions of entry and exit and the impossibility of moving along a number of segments of the road network with the formation of a route sheet for each option.

In the case of inaccessibility for passage of certain sections of the road network, this condition was automatically taken into account when solving the optimization problem, and inaccessible sections were excluded from the route. The user-friendly interface of the ArcView application and the Network Analyst extension module ensured the speed of changing conditions when setting tasks for modeling various route options.

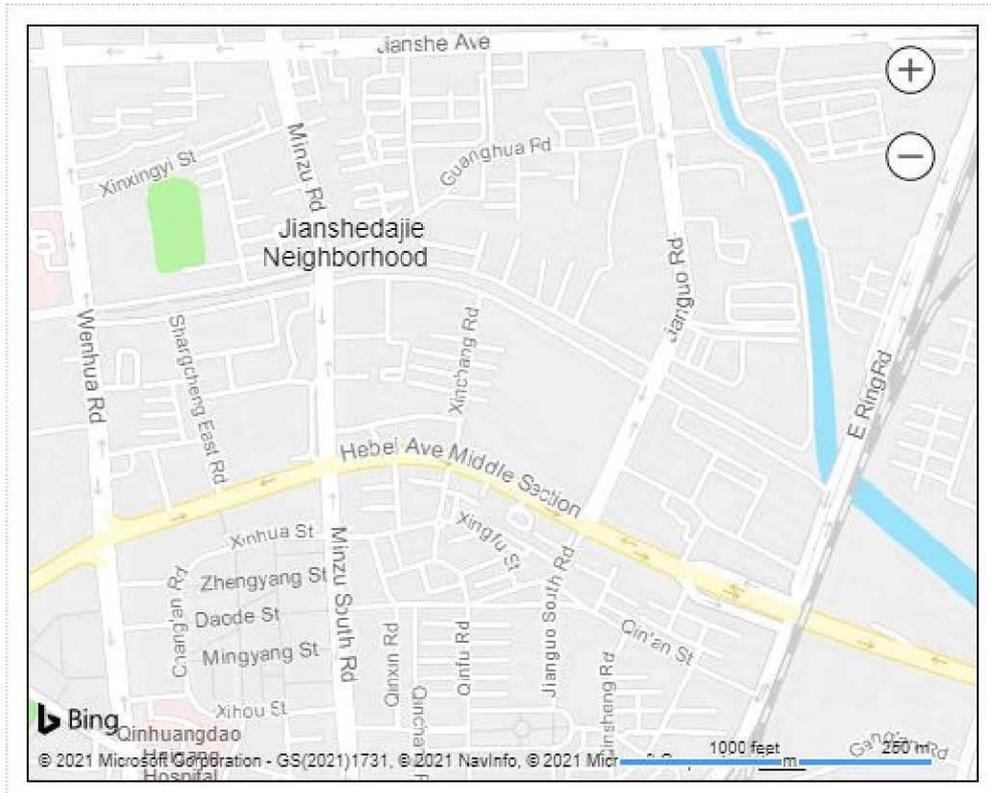


Fig. 1. Topographic basis for creating a network spatial model of a part of the territory of the city Qinhuangdao

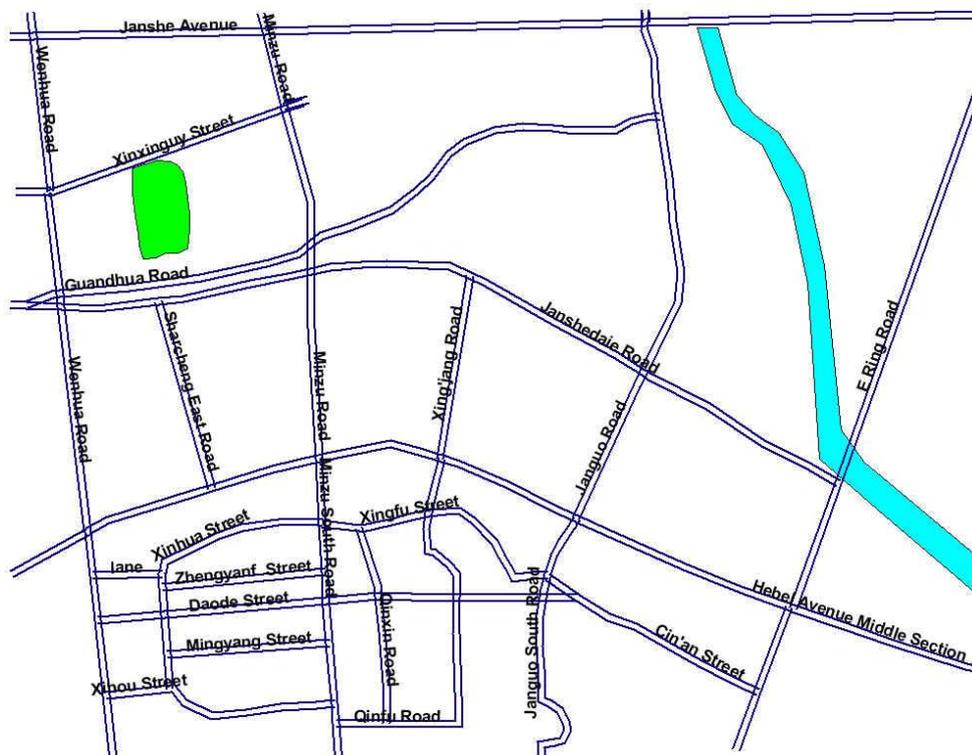


Fig. 2. Network spatial model of the main streets and driveways of the studied part of the city Qinhuangdao

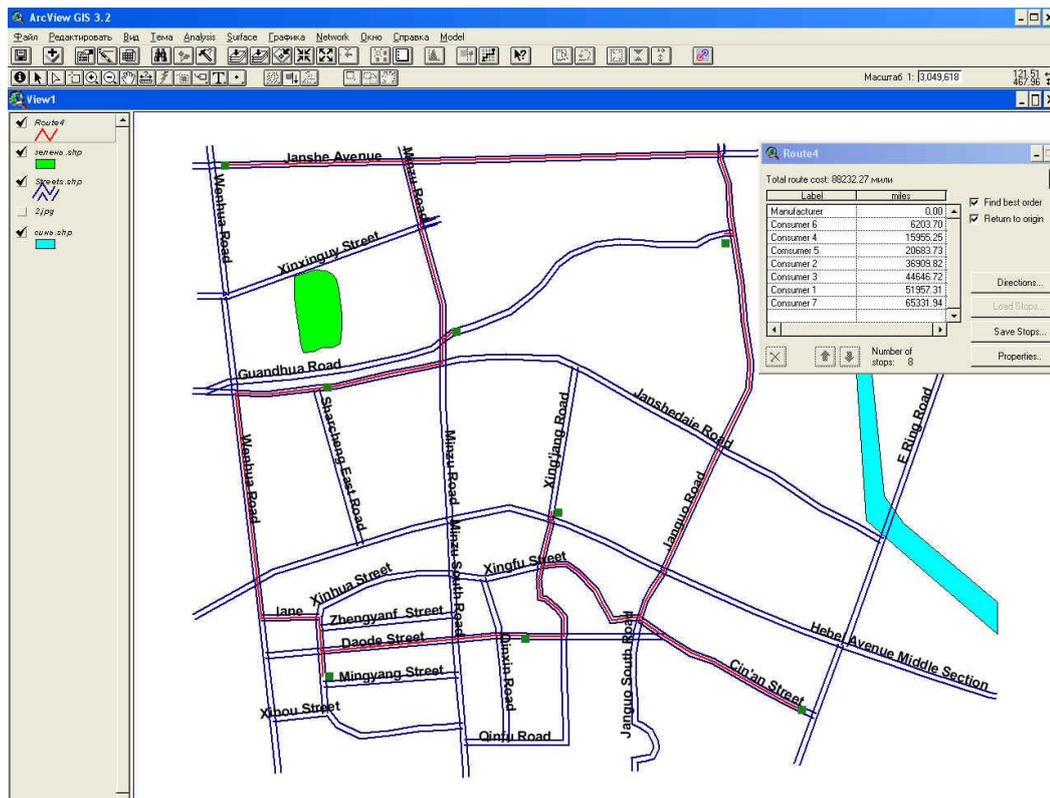


Fig. 3. Optimized route for the delivery of products from the manufacturer to a number of consumers in the context of routine transport work

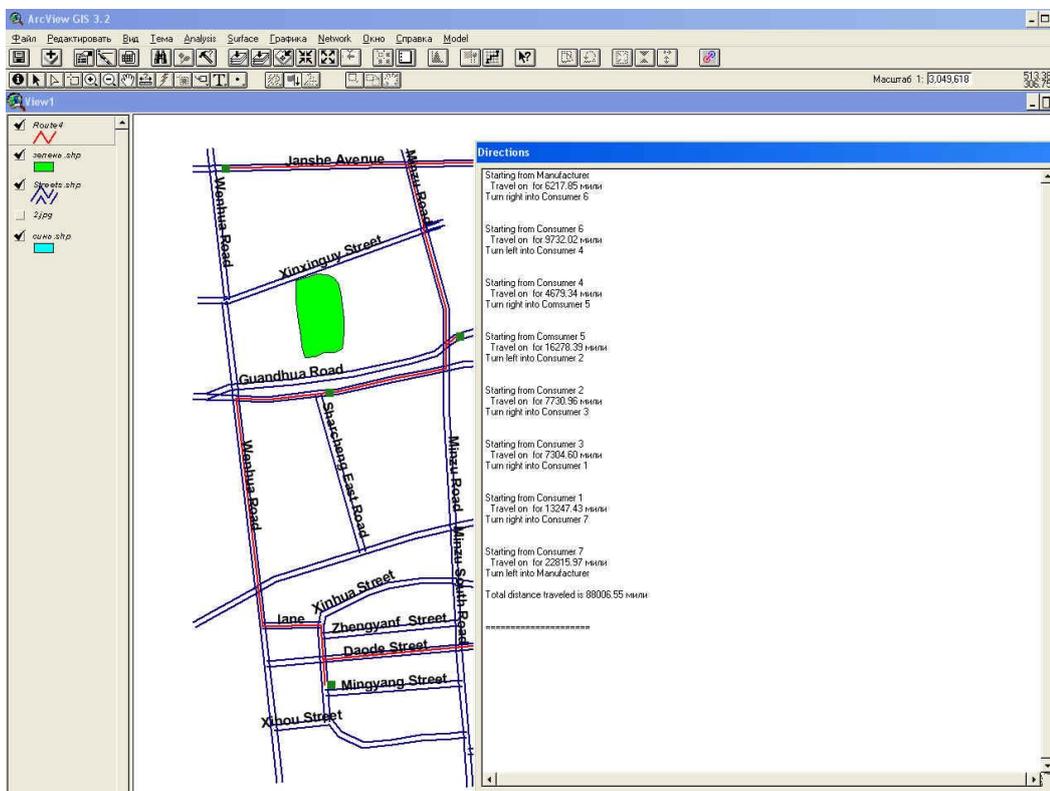


Fig. 4. Route sheet for the movement of technological transport during the delivery of products from the manufacturer to consumers

It is obvious that the use of software tools that implement algorithms for network spatial analysis makes it possible to solve the problems of operational modeling of traffic routes with dynamic initial conditions and optimization according to specified criteria.

Thus, the technique of network spatial modeling based on the technology of geographic information systems can be effectively used in the implementation of measures to systematically reduce the mileage of road transport in order to improve economic and environmental performance.

Application of geographical information system technology in the activities of emergency service. The simulation of the optimal route for the ambulance crew from the ambulance substations located at different distances from the call address was carried out. Since the routes were optimized by the factor of minimizing the distance traveled, it is obvious that the operational modeling of the optimal route for each call will allow to obtain the effects of reducing the mileage and time to arrival. And a reduction in mileage at one exit, albeit insignificant, taking into account the intensity of the work of the ambulance service and the number of trips, can have a significant positive impact on reducing the corresponding material costs. Reducing the time before the arrival of this service in general is difficult to overestimate.

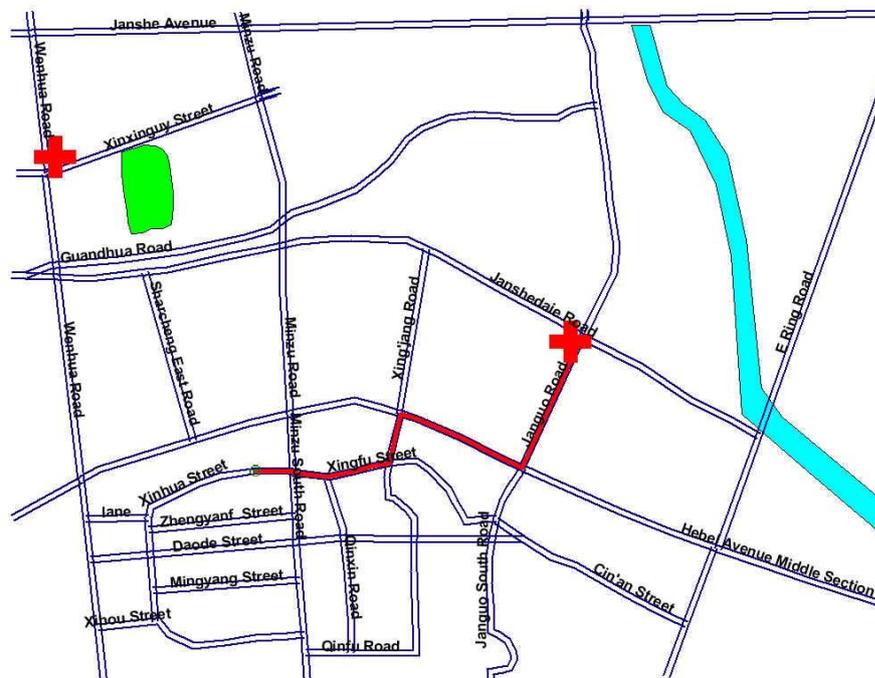


Fig. 5. The results of modeling the optimal routes for the movement of an ambulance brigade at various addresses

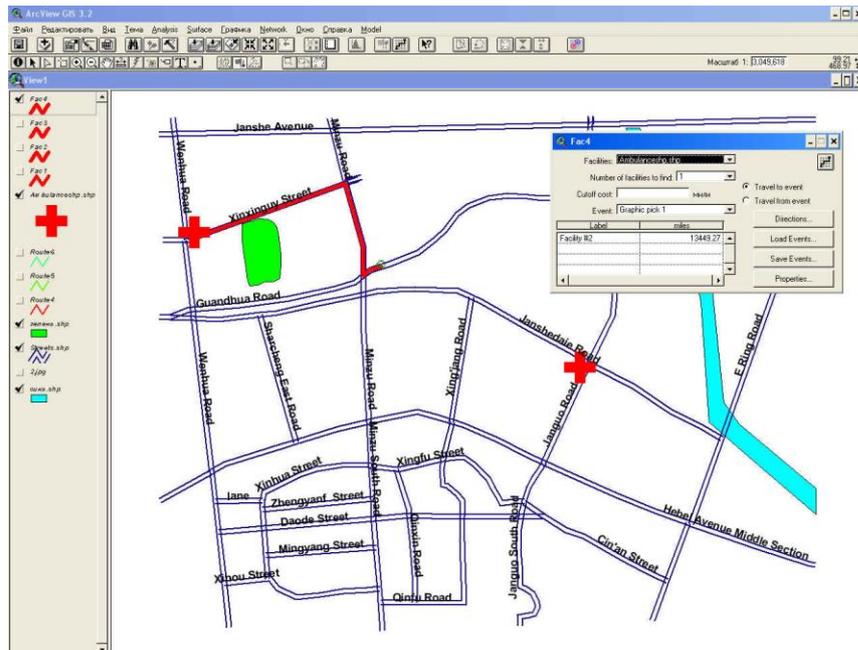


Fig. 6. The results of modeling the optimal routes for the movement of an ambulance brigade at various addresses

Service area optimization modeling. The location of the facility was optimized for maximum accessibility to all consumers within the road network using ArcView GIS and the Network Analyst extension. Spatial accessibility models of a service point located at different points of the territory are shown in fig. 7–9.

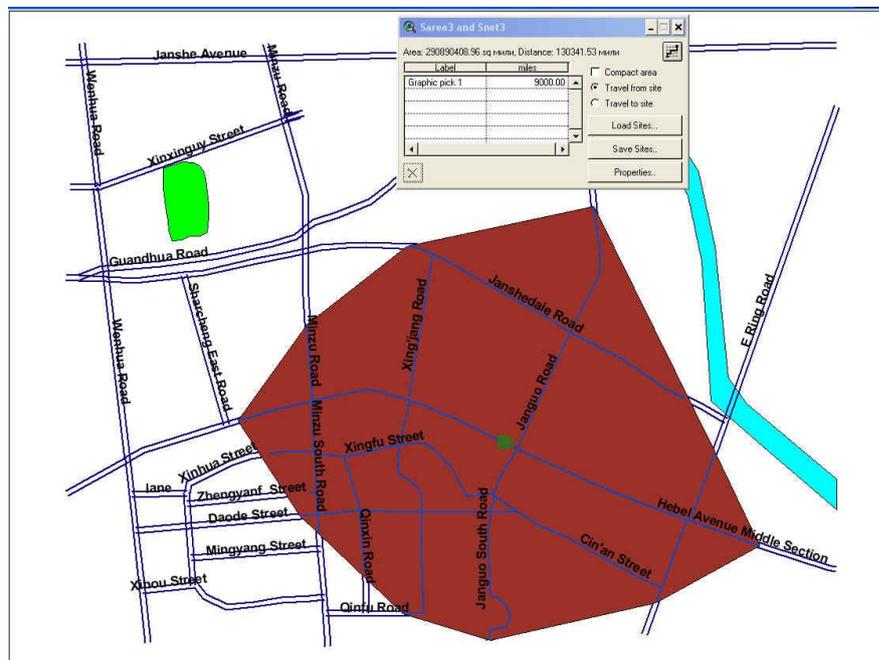


Fig. 7. Optimization of service areas for different location of the service point

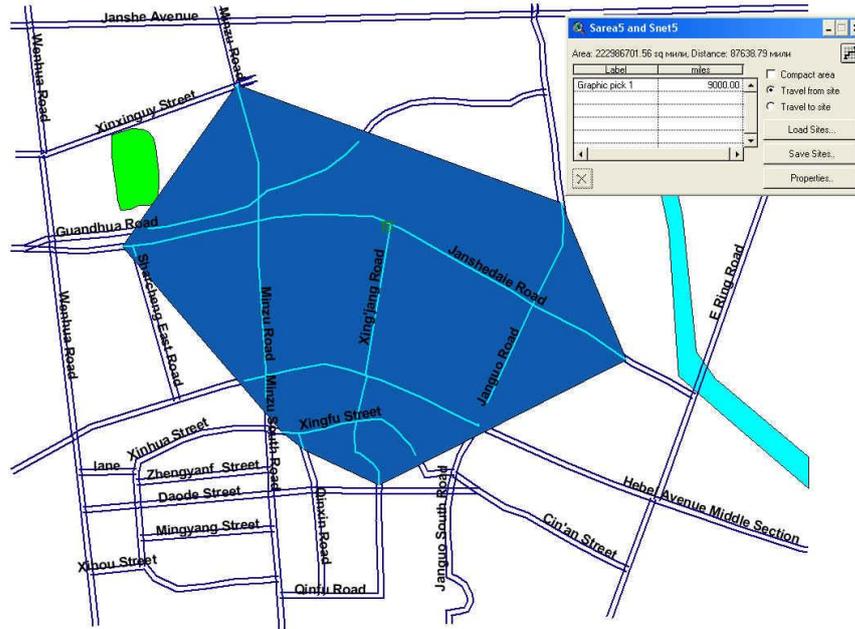


Fig. 8. Optimization of service areas for different location of the service point

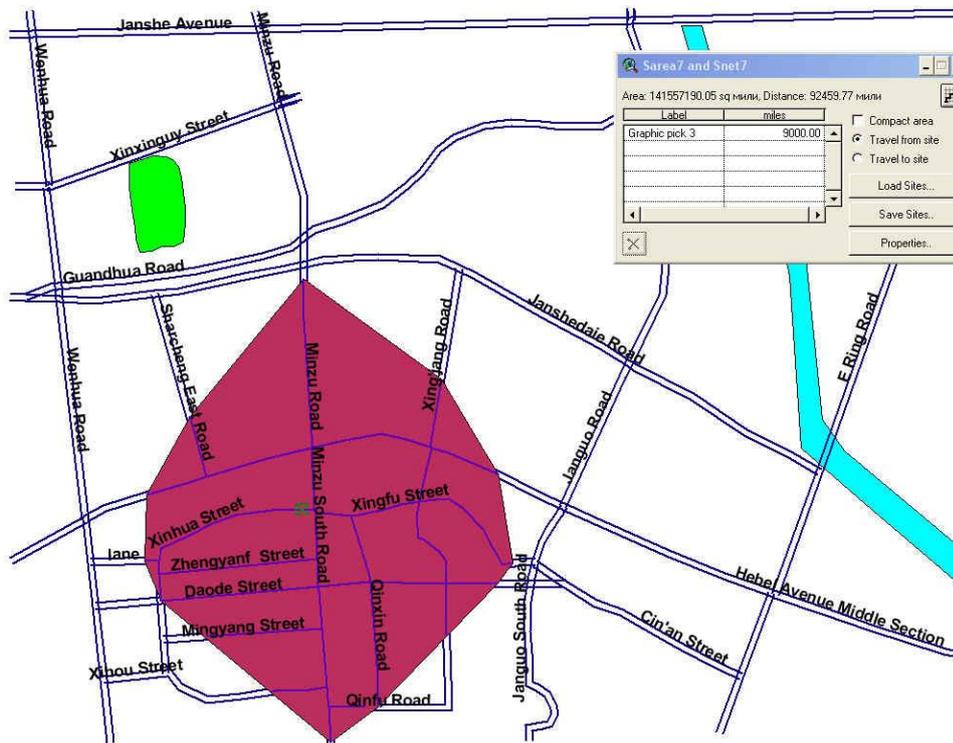


Fig. 9. Optimization of service areas for different location of the service point

REFERENCES

1. Абламейко С. В. Геоинформационные системы: создание цифровых карт / Абламейко, С.В., Апарин, Г. П., Крючков, А.Н. Минск, 2000. 265 с.
2. Кошкарев А. В., Тикунов В. С. Геоинформатика / под ред. Д.В. Лисицкого. М.: «Картгеоцентр», Геодезиздат, 1993. 351 с.
3. Сердюцкая Л. Ф., Яцишин А. В. Техногенная экология: математико-картографическое моделирование. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 232 с.
4. Хаксхолд В. Ё. Введение в городские географические информационные системы / пер. с англ. New York: Oxford University Press, 1991. 317 с.
5. Longley P. A. GIS: Teoria i praktyka / P. A. Longley [et ctr.]. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2006. 519 s.
6. Бубнов В. П., Дорожок С. В., Лаптёнок С. А. Решение задач экологического менеджмента с использованием методологии системного анализа. Минск: БНТУ, 2009. 266 с.
7. Морзак Г. И., Лаптёнок С. А. Пространственное моделирование в промышленной и социальной экологии. Минск: БГАТУ, 2011. 210 с.
8. Лаптенок С. А. Системный анализ геоэкологических данных в целях митигации чрезвычайных ситуаций. Минск: БНТУ, 2013. 287 с.
9. Лаптёнок С. А. Пространственное моделирование экологических процессов средствами географических информационных систем: учебно-методическое пособие. Минск: ИВЦ Минфина, 2020. 116 с.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ В СОВРЕМЕННОМ ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ

ШЕВЛЯКОВ Е. В., РУССКИХ И. Л., СИДОРУК М. Р.

Научно-исследовательский и проектный институт ОАО «Уралмеханобр», Екатеринбург

Аннотация. Экономическая оценка альтернативных сценариев развития подземных горных работ на основе построенной динамической 3D-модели.

Ключевые слова: программное обеспечение, 3D-моделирование, планирование горных работ, календарный план.

CHOOSING THE OPTIMAL OPTION OF MINE FIELD DEVELOPMENT WHEN PLANNING IN A MODERN SOFTWARE SUITE

SHEVLYAKOV E. V., RUSSKIH I. L., SIDORUK M. R.

Research and Design Institute OJSC «Uralmekhanobr», Ekaterinburg

Abstract. Economic assessment of alternative scenarios for the development of underground mining operations based on the constructed dynamic 3D-model.

Keywords: software, 3D-modeling, mine planning, mine scheduling.

Современные программные комплексы предоставляют возможность создания динамических и детализированных 3D-моделей горнопромышленных предприятий, на основании которых исследуются множество различных сценариев развития подземных горных работ. Это позволяет выбрать оптимальный вариант отработки месторождения с самыми высокими экономическими показателями.

В рамках проектирования для существующего рудника была выполнена динамическая 3D-модель развития подземных горных работ проектируемого участка, отработка которого ведется совместно с действующими проектами. На руднике после осмотра состояния скиповых стволов было принято решение о необходимости их ремонта, что потребует снижения производительности рудника в период реконструкции.

Снижение производительности рудника в свою очередь может привести к ухудшению экономических показателей, вплоть до отрицательного значения NPV.

Для поиска решения данной проблемы были созданы четыре сценария по оптимизации горных работ, перераспределению объемов породы от строительства подземных горных выработок и выдачи её на поверхность при снижении производительности подъемных установок в период реконструкции скиповых стволов:

– сценарий № 1 – замедление темпов проходки капитальных и подготовительных выработок на период реконструкции ствола СС-1 с минимальным объёмом выдачи пород от проходки капитальных выработок.

– сценарий № 2 – сохранение темпов проходки капитальных и подготовительных выработок на период реконструкции ствола СС-1 с максимальным объёмом выдачи пород от проходки капитальных выработок, с минимальной добычей руды по действующим проектам.

– сценарий № 3 – замедление темпов проходки капитальных и подготовительных выработок на период реконструкции стволов СС-1 и СС-2 с опережающей стройкой первоочередных капитальных выработок, необходимых для начала добычных работ.

– сценарий № 4 – замедление темпов проходки капитальных и подготовительных выработок на период реконструкции стволов СС-1 и СС-2 с опережающей стройкой первоочередных капитальных выработок, необходимых для начала добычных работ. Сокращение срока реконструкции ствола СС-2.

Сценарий № 1

Начиная с 2023 г. по 2027 г. осуществляется строительство обязательных горно-капитальных выработок комплекса главного водоотлива и комплекса дробления и перепуска руды СС-2. С 2029 г. производится строительство основных объемов горно-капитальных выработок.

Очистная добыча проектируемого участка начинается с 2029 г. На общую производственную мощность в 7,2 млн т рудник выходит в 2032 г.

Основные показатели по сценарию № 1 представлены в табл. 1.

Таблица 1. Основные показатели по сценарию № 1

Год	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Ремонт, остановка, реконструкция ствола			СС-1				СС-2												
ГКР обязательные, тыс. куб. м	20	62	58	15															
ГКР, тыс. куб. м					12	13	115	130	73	69	83	70	35	51	22	19	8	7	
ПНР, тыс. куб. м					9	72	189	141	160	248	260	224	302	230	254	264	354	288	
Добыча очистная проектируемого участка, млн. т							0,8	1,6	2,9	2,8	2,8	2,8	2,8	2,9	3,1	3,2	4,0	4,3	
Общая производительность рудника, млн. т	4,6	5,0	2,9	3,2	3,4	3,2	5,3	6,0	6,0	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	

Сценарий № 2

Объемы строительства горно-капитальных выработок соответствуют объемам, запланированным в проектной документации, но начало их строительства передвигается на 2024 г. В 2023 г. осуществляется строительство только части обязательных объемов ГКВ по комплексу главного водоотлива и комплексу дробления и перепуска руды СС-2.

Очистная добыча проектируемого участка начинается с 2027 г. На общую производственную мощность в 7,2 млн т рудник выходит в 2032 г.

Основные показатели по сценарию № 2 представлены в табл. 2.

Таблица 2. Основные показатели по сценарию № 2

Год	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Ремонт, остановка, реконструкция ствола			СС-1				СС-2												
ГКР обязательные, тыс. куб. м	20	62	58	15															
ГКР, тыс. куб. м		139	172	100	41	52	35	32	32	38	18	1	6	35	3	3	5	8	
ПНР, тыс. куб. м			23	111	143	146	195	329	181	176	157	212	290	258	353	218	264	337	
Добыча очистная проектируемого участка, млн. т					0,7	1,7	2,8	2,7	2,9	2,8	3,0	2,8	2,9	2,9	3,0	3,2	4,1	4,3	
Общая производительность рудника, млн. т	4,6	4,6	2,4	2,7	3,1	3,2	5,6	6,0	6,0	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	

Сценарий № 3

С 2023 г. производится строительство обязательных объектов ГКР. Перенос строительства отдельных ГКВ на более поздний срок по мере их необходимости: комплекс ремонта СДО, рудоспуски участковые, северный соединительный уклон.

Очистная добыча проектируемого участка начинается с 2027 г. На общую производственную мощность в 7,2 млн т рудник выходит в 2032 г.

Основные показатели по сценарию № 3 представлены в табл. 3.

Таблица 3. Основные показатели по сценарию № 3

Год	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Ремонт, остановка, реконструкция ствола			СС-1				СС-2												
ГКР обязательные, тыс. куб. м	20	62	58	15															
ГКР, тыс. куб. м		48	91	86	82	53	45	50	34	69	55	36	11	35	4	3	5	8	
ПНР, тыс. куб. м			23	111	143	146	195	329	181	176	157	212	290	258	353	218	264	337	
Добыча очистная проектируемого участка, млн. т					0,7	1,7	2,8	2,7	2,9	2,8	3,0	2,8	2,9	2,9	3,0	3,2	4,1	4,3	
Общая производительность рудника, млн. т	4,6	4,8	2,6	2,8	3,0	3,2	5,6	6,0	6,0	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	

Сценарий № 4

С 2023 г. производится строительство обязательных объектов ГКР. Начало строительства отдельных ГКВ (комплекс ремонта СДО, рудоспуски участковые, северный соединительный уклон) аналогичны сценарию № 3.

Начиная с 2030 г. максимальная возможная производительность подъёмных установок принимается равной 10 млн т в год.

Очистная добыча проектируемого участка начинается с 2027 г. На общую производственную мощность в 7,2 млн т рудник, совместно с существующими проектами, выходит в 2031 г.

Однако данный сценарий оказался неосуществимым, так как сократить срок реконструкции ствола СС-2 невозможно.

Основные показатели по сценарию № 4 представлены в табл. 4.

Таблица 4. Основные показатели по сценарию № 4

Год	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Ремонт, остановка, реконструкция ствола			СС-1				СС-2												
ГКР обязательные, тыс. куб. м	20	62	58	15															
ГКР, тыс. куб. м		48	91	86	82	53	45	50	38	67	53	38	12	34	3	5	6	7	
ПНР, тыс. куб. м			23	111	143	146	195	346	250	179	198	177	278	274	301	231	302	323	
Добыча очистная проектируемого участка, млн. т					0,7	1,7	2,8	3,2	4,0	2,8	2,8	2,9	2,8	2,8	3,1	3,2	4,0	4,3	
Общая производительность рудника, млн. т	4,6	4,8	2,6	2,7	3,0	3,2	5,6	6,5	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2

Экономическая оценка сценариев

Расчет экономической эффективности по 4 сценариям был произведен на срок 18 лет (до 2040 г.). В расчетах эксплуатационных затрат учитывался только передел добычи руды. Расчет товарной продукции по календарным графикам добычи произведен до металлов. В потоках денежных средств стоимость товарной продукции приведена к стоимости руды за вычетом затрат на обогащение и металлургический передел.

Стоимость товарной продукции рассчитывалась на уровне металлов с учетом цен и курса доллара, представленных в финансово-экономической модели рудника.

Сравнение сценариев по стоимости товарной продукции приведено на рис. 1.

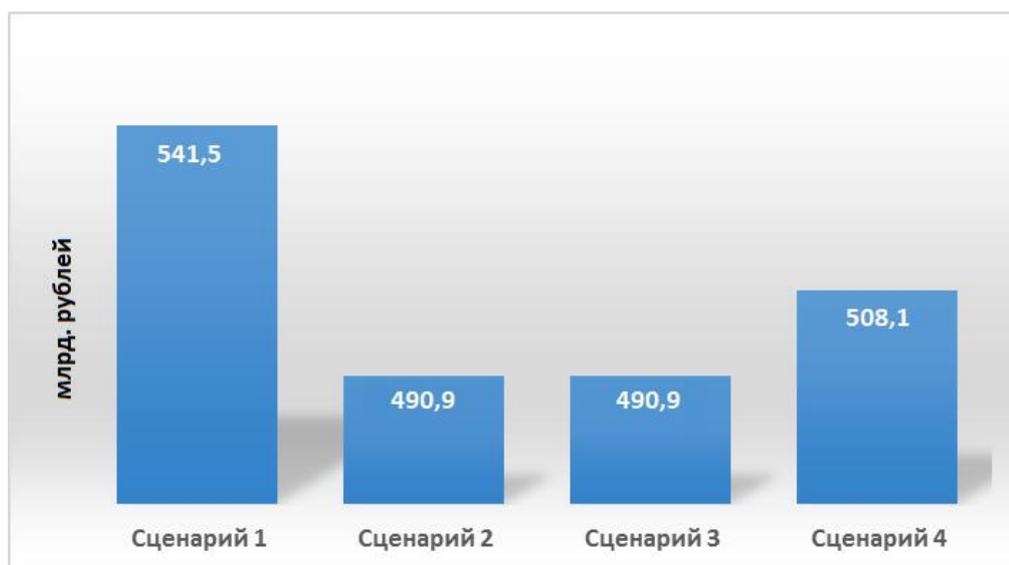


Рисунок 1. Диаграмма сравнения сценариев по стоимости товарной продукции

Капитальные затраты на строительство и реконструкцию подземного рудника рассчитаны в ценах 2022 г. и на основании принятых технических решений. Капитальные затраты определены на основании сводных сметных расчетов. Капитальные затраты на ре-

конструкцию и строительство подземного рудника по сценариям отличаются на объемы ГКР.

Сравнение сценариев по капитальным затратам приведено на рис. 2.

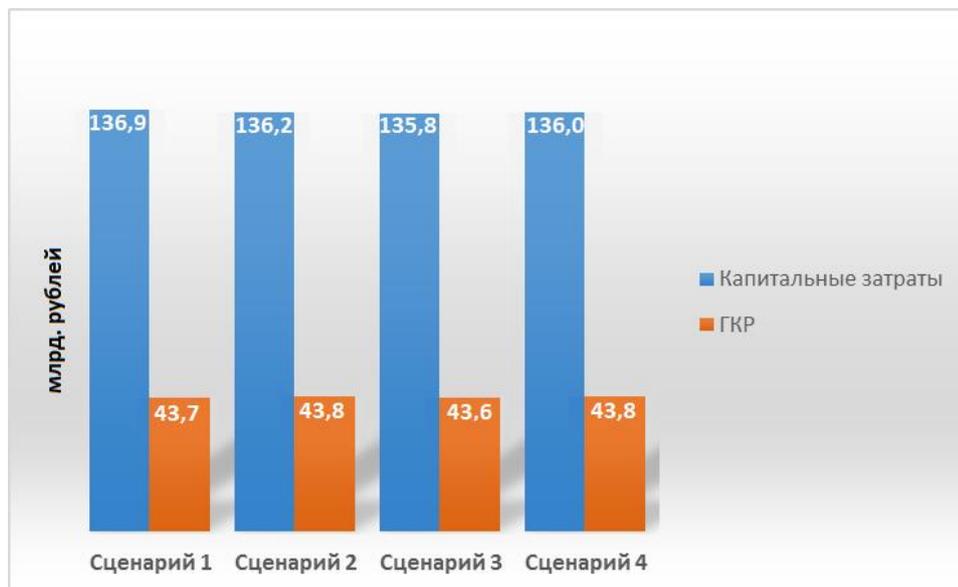


Рисунок 2. Диаграмма сравнения сценариев по капитальным затратам

Эксплуатационные затраты на добычу руды подземным способом определены по годам расчётного периода, с учетом календарей добычи по сценариям и действующих калькуляций на добычу руды, ГПП и закладочного комплекса по сценариям развития рудника.

Расчет эксплуатационных затрат на отработку запасов месторождения по вариантам развития произведен на основе раздельного учета затрат на горно-подготовительные и добычные работы.

Сравнение сценариев по эксплуатационным затратам приведено на рис. 3.



Рисунок 3. Диаграмма сравнения сценариев по эксплуатационным затратам

Сравнение вариантов сценариев развития рудника производилось на основании NPV. В потоках от операционной деятельности учтены:

– выручка от реализации товарной продукции с учетом дисконта на обогащение руды и металлургический передел;

– затраты на добычу руды на подземном руднике.

В потоки от инвестиционной деятельности включены:

– капитальные затраты на строительство, включая изменяемые по вариантам затраты на горно-капитальные работы.

Чистый дисконтированный доход (NPV) по каждому из вариантов получился отрицательным.

Сравнение сценариев по чистому дисконтированному доходу приведено на рис. 4.



Рисунок 4. Диаграмма сравнения сценариев по чистому дисконтированному доходу

Сравнение технико-экономических показателей по вариантам сценариев представлено в табл. 5.

Таблица 5. Сравнение технико-экономических показателей по сценариям

Показатели	Сценарии			
	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3	Сценарий 4
Стоимость товарной продукции за период оценки на уровне добычи, млрд руб.	541,5	490,9	490,9	508,1
Капитальные затраты, млрд руб. В том числе:	136,9	136,2	135,8	136,0
ГКР, млрд руб.	43,7	43,8	43,6	43,8
Эксплуатационные затраты на добычу, млрд руб.	210,6	202,8	202,8	208,9
NPV, млрд руб.	-26,3	-16,9	-11,1	-8,5

Расчеты показали, что **определяющим фактором** по сценариям отработки месторождения является *распределение горно-капитальных работ и объемов добычи по годам*.

– Наибольшая стоимость товарной продукции за период оценки получена при сценарии № 1.

– Наименьшие капитальные затраты получены при сценарии № 3.

– Наименьшие эксплуатационные затраты - при сценарии № 2 и № 3.

– Наименьшие объемы горно-капитальных работ приходятся на первые 4 года стройки в варианте № 1, но при этом очистная добыча по данному сценарию возможна только в 2029 году.

– Вариант № 4 показывает оптимальное сочетание затрат на ГКР и возможных объемов добычи, поэтому в сценарии № 4 убыток по NPV проекта наименьший в сравнении с другими сценариями, однако вариант технологически неосуществим.

В итоге все четыре сценария оказались убыточны, поэтому было принято решение о проработке сценария № 5, в котором были исправлены ошибки планирования и учтены

все технологические решения сценариев, оказывающие положительный эффект на результаты моделирования рудника.

Сценарий № 5

Так как в предыдущих сценариях в первую очередь отработка начиналась с мощного участка вкрапленных руд, для повышения экономической эффективности было принято решение сменить первоочередной участок для вовлечения в отработку запасов медистых и богатых руд для увеличения стоимости товарной продукции в первые годы очистной выемки.

Для распределения горно-капитальных работ введено ограничение по максимальному годовому объему проходки выработок 57 тыс. м³.

Очистная добыча проектируемого участка начинается с 2029 г. На общую производственную мощность в 7,2 млн т рудник выходит в 2036 г.

Основные показатели по сценарию № 5 представлены в табл. 6.

Таблица 6. Основные показатели по сценарию № 5

Год	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Ремонт, остановка, реконструкция ствола																												
				СС-1			СС-2																					
ГКР первоочередные, тыс. куб. м	20	62	58	15																								
ГКР, тыс. куб. м			1	45	57	57	57	57	57	57	57	57	57	38	32	51	9	0	3	16	14	32	25	22	16	6	16	10
ПНР, тыс. куб. м					23	104	86	52	119	154	73	82	118	216	303	296	366	330	273	407	301	434	409	404	445	438	388	401
Добыча очистная проектируемого участка, млн. т							0,7	0,8	1,0	1,1	1,5	1,9	2,0	2,2	2,7	2,7	3,6	4,1	4,3	4,3	4,2	4,5	4,8	5,2	5,4	5,5	5,6	5,6
Общая производительность рудника, млн. т	4,6	4,8	2,8	3,0	3,2	3,0	4,9	5,2	5,3	5,9	6,1	6,3	6,4	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2

Экономическая оценка сценария № 5

Расчет экономической эффективности при вовлечении в отработку участков медистых и богатых руд по сценарию № 5 произведен на срок 28 лет (до 2050 г.).

Стоимость товарной продукции за 28 лет эксплуатации рудника (до 2050 г.) составила 3 883,9 млрд руб.

Капитальные затраты на строительство и реконструкцию подземного рудника рассчитаны в ценах 2022 года и на основании принятых технических решений по развитию горно-капитальных работ. Капитальные затраты определены на основании сводных сметных расчетов и составят по сценарию № 5 до 2050 г. 146,8 млрд руб., в том числе ГКР 62,2 млрд руб.

Эксплуатационные затраты на добычу руды подземным способом определены по годам расчетного периода, с учетом календарей добычи и действующих калькуляций на добычу руды, ГПР и складочного комплекса по сценарию № 5.

Расчет эксплуатационных затрат на отработку запасов месторождения по варианту развития № 5 произведен на основе раздельного учета затрат на горно-подготовительные и добычные работы.

В потоках от операционной деятельности учтены:

- выручка от реализации товарной продукции;
- затраты на отработку подземного рудника, обогащение руды на обогатительной фабрике и металлургический передел.

В потоках от инвестиционной деятельности включены:

- капитальные затраты на строительство;
- НДС;
- восполнение мощностей.

Чистый дисконтированный доход равен 13,4 млрд руб.

Технико-экономические показатели по сценарию № 5 представлены в табл. 7.

Таблица 7. Технико-экономические показатели по сценарию № 5

Показатели	Сценарий 5
Стоимость товарной продукции за период оценки на уровне добычи млрд руб.	3883,9
Капитальные затраты, млрд руб. В том числе:	146,8
ГКР, млрд руб.	62,2
Эксплуатационные затраты на добычу, млрд руб.	292,9
NPV, млрд руб.	13,4

Несмотря на снижение годовой производительности и более поздний срок выхода на максимальную производительность, содержание полезных компонентов в товарной руде возросло. Экономическая оценка сценария № 5 показала, что отработка запасов по этому варианту имеет умеренную экономическую эффективность.

Вывод

Применение современного программного комплекса для создания детализированной 3D-модели и динамического календарного плана предоставляет возможность интерактивно вносить изменения и анализировать полученные варианты развития подземных горных работ для результативной оценки экономической эффективности.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ КРАТКОСРОЧНОМ ПЛАНИРОВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

КУЛЬМИНСКИЙ А. А., ШЕВЛЯКОВ Е. В.

Научно-исследовательский проектный институт ОАО "Уралмеханобр", Екатеринбург

Аннотация. Основу горного производства составляет цепочка увязанных между собой во времени и пространстве технологических процессов (бурение, отбойка, транспортировка руды, крепление и т. д.). От эффективности и своевременности выполнения одной технологической операции зависит эффективность работы целого предприятия. В связи с этим, крайне важно осуществлять своевременное планирование данных операций в краткосрочном периоде (год, месяц, неделя, сутки). Краткосрочное планирование подземных горных работ с помощью современных программных комплексов (Deswik, DataMine и т.д.) даёт возможность наглядно и оперативно оценить влияние каждого отдельно взятого процесса на всю технологическую цепочку в целом; выявить слабые звенья, произвести корректировку производительности и продолжительности технологических операций, а также в максимально сжатые сроки оценить последствия этих изменений на общей производственной картине.

Ключевые слова: краткосрочное планирование, программный комплекс, технологические выемочные единицы, подготовительно-нарезные выработки, циклограмма технологических процессов, проходческие и очистные работы.

USE OF MODERN SOFTWARE FOR SHORT-TERM PLANNING OF UNDERGROUND MINING

KULMINSKIY A. A., SHEVLYAKOV E. V.

Research and design institute OJSC «Uralmekhanobr», Ekaterinburg

Abstract. The basis of mining production is a chain of time-related and technological processes (drilling, breaking, ore transportation, fastening, etc.). The effectiveness of the detection of the enterprise depends on the efficiency and effectiveness of the execution of one technological operation. In connection with this extremely important regulation of the operational management of these operations in the short term (year, month, week, day). Short-term planning of underground mining using modern software systems (Deswik, DataMine, etc.) allows you to quickly and efficiently evaluate the impact of each individual process on the entire technological chain as a whole; identification of significant consequences of changes in total production output.

Keywords: short-term planning, software package, technological excavation units, preparatory-cutting workings, cycloramas of technological processes, tunneling and clearing works.

Введение

В рамках горного производства краткосрочное планирование позволяет осуществлять контроль за работой предприятия, а также в оперативном режиме вносить корректировку планов с целью улучшения необходимых технологических показателей.

Наиболее эффективно осуществлять построение календарных графиков на краткосрочный период позволяет использование современных программных комплексов. С помощью данных комплексов процесс планирования горных работ существенно упрощает-

ся, а эффективность и правдоподобность составляемых в ходе краткосрочного планирования циклограмм технологических процессов становится на порядок выше.

В 2021 г. специалистами института ОАО «Уралмехонобр» была выполнена работа по краткосрочному планированию технологии отработки участка рудника. Целью работы являлось рассмотрение возможности применения автономного оборудования, задействованного на различных технологических процессах. Поставленная задача была решена путём составления краткосрочного плана горных работ при помощи современного ПК Deswik.

Основное содержание

Для решения данной задачи на начальном этапе была построена 3D модель участка, включающая в себя каркасы обрабатываемых технологических выемочных единиц (ТВЕ) - камер и каркасы подготовительно-нарезных выработок (ПНВ), необходимых для отработки ТВЕ. Каркасы камер были получены с помощью специального модуля программного комплекса (Deswik.SO) в результате оптимизации выемочных единиц. Исходными данными для выполнения процесса оптимизации являлись: блочная модель обрабатываемого месторождения, бортовое содержание, технологическая сетка разделения камер в границах рудного поля, а также геометрические параметры самих камер, продиктованные особенностями системы разработки.

В дальнейшем, с помощью другого инструмента того же самого ПК, (Deswik.CAD) с увязкой к полученным в результате оптимизации камерам и существующим горным выработкам рудника, была спроектирована система подготовительно-нарезных выработок (Рисунок 1).

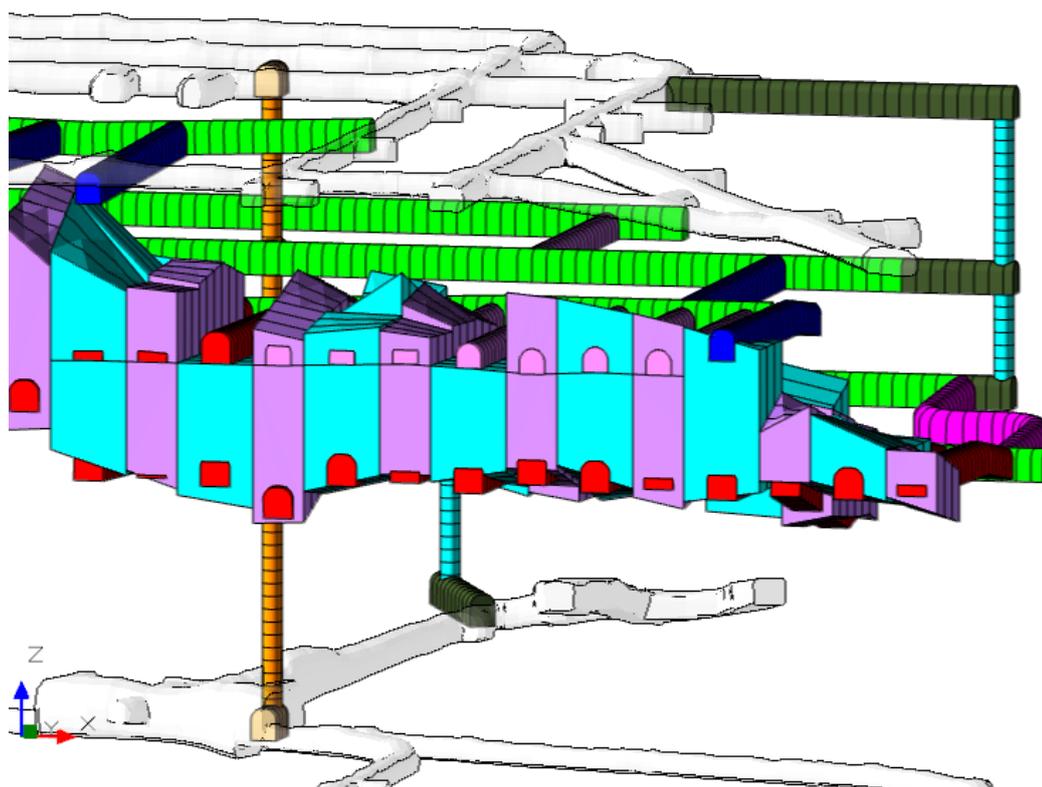


Рисунок 1. Отстроенные каркасы камер и горных выработок участка

В целях построения более точного календарного плана отработки запасов, необходимо было детализировать проходческие и очистные работы. В связи с этим было принято решение разделить каркас очистной камеры на секции (часть массива, обрабатываемая за один взрыв), а каркасы подготовительно-нарезной выработки на сегменты, при этом длина сегмента должна соответствовать длине ежесуточного продвижения забоя (Рисунок 2).

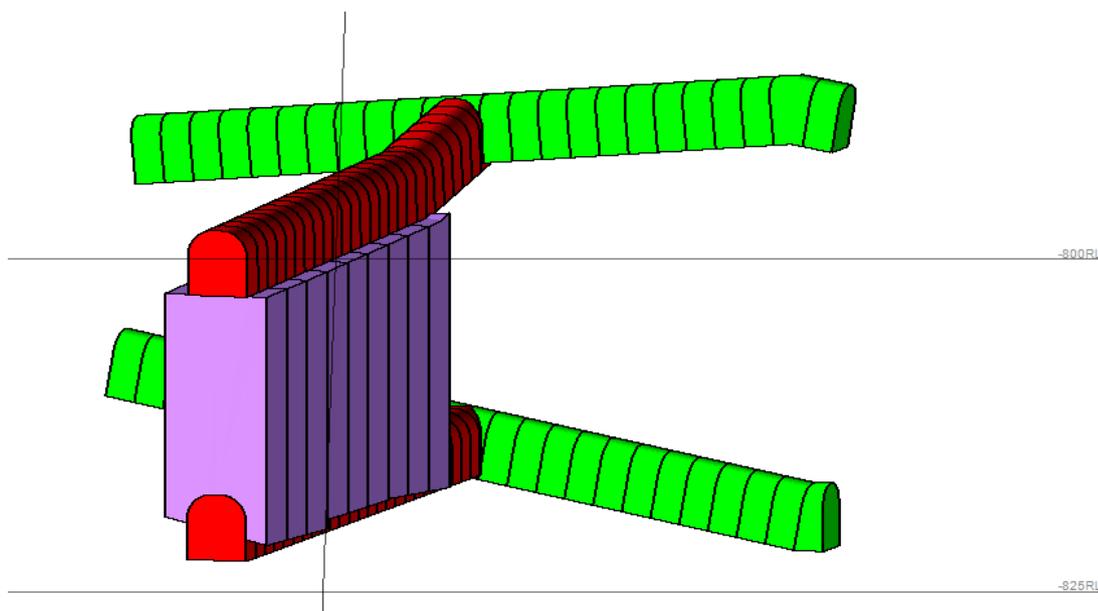


Рисунок 2. Каркас камеры и ПНВ с разделением их на секции и сегменты

Следующим шагом после построения каркасов было формирование подробного краткосрочного плана отработки участка путём создания проходческих и очистных циклов, а также построения зависимостей между этими циклами.

Для формирования проходческого цикла в календаре потребовалось создание циклограммы технологических процессов включающей в себя производительности и продолжительности всех операций, необходимых для проведения выработок.

За основу принималась циклограмма проходки выработок, разработанная в соответствии с проектной документацией обрабатываемого месторождения. Затем данная циклограмма интегрировалась в программный комплекс.

Каждый технологический процесс (оборка заколов, подготовительные операции, бурение, зарядание, взрывание и проветривание, отгрузка, крепление и межсменный перерыв) в программе представляет собой производную задачу. Производной задачей является задача с конкретной продолжительностью или производительностью (в зависимости от процесса).

Создание производных задач и построение связей между ними (по сути, формирование проходческого цикла в пространстве модели) выполнялось при помощи программного модуля Deswik.IS.

После создания зависимостей внутри каждой выработки, выполнялось построение связей между выработками.

В цикл очистных работ при формировании календарного плана вошли все технологические операции необходимые для полной отработки камеры: бурение скважин, крепление кровли камер, зарядание, взрывание и проветривание, отгрузка рудной массы, подготовка к закладочным работам, закладка камеры, набор прочности закладочной смеси. При этом процессы, не имеющие фиксированной продолжительности, напрямую зависят от объёма обрабатываемой камеры. Например, процесс отгрузки рудной массы из камеры задаётся в программе в соответствии с производительностью принятой погрузочно-доставочной машины. Благодаря этому отработка каждой камеры (каждой секции камеры) будет иметь разную продолжительность в зависимости от её объёма.

Создание цикла очистных работ производилось аналогично созданию проходческого цикла.

В результате было выполнено создание цикла работ по очистной выемке, учитывающего все технологические операции, необходимые для полной отработки камеры.

После создания зависимостей внутри камеры, выполнялось построение связей между камерами согласно принятому технологическому порядку отработки данных камер.

Окончательным этапом создания краткосрочного плана являлось построение зависимостей между подготовительно-нарезными выработками и каркасами камер, а также корректировка технологических операций с учётом временного интервала их возможного проведения (ведение взрывных работ, согласно организации работ на руднике, может производиться только в межсменный перерыв).

В итоге была получена динамическая 3D модель проектируемого участка, а также отчёт в табличной форме по всем технологическим процессам, необходимым для отработки данного участка, с указанием их продолжительностей, производительностей, порядка в технологической цепочке, различных характеристик и так далее (Рисунок 3).

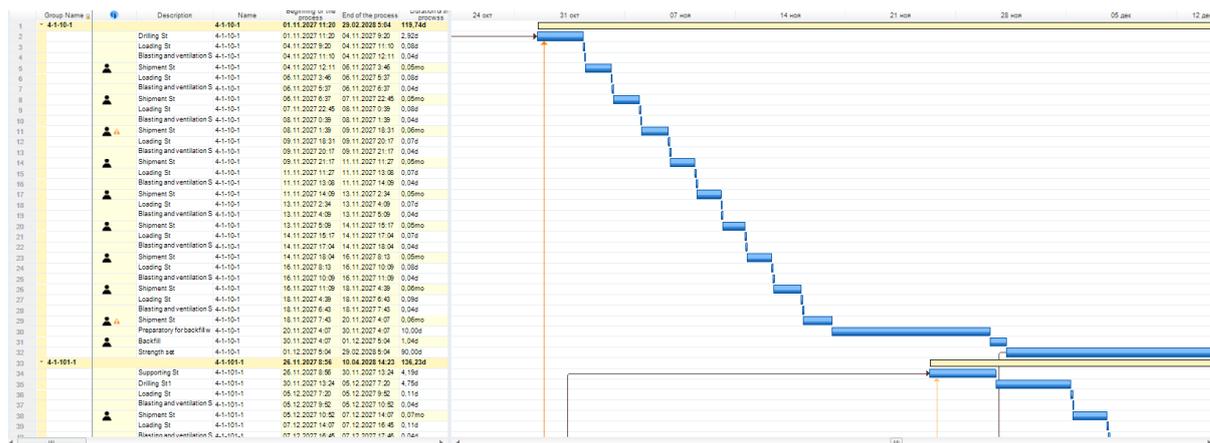


Рисунок 3. Общий вид сформированного отчета (по очистному циклу)

Составленный краткосрочный план в виде динамической 3D модели позволил проанализировать возможность применения автономных единиц техники, задействованных на основных технологических операциях. С точки зрения технологии ведения подземных горных работ наиболее целесообразно использование данного типа техники при процессах отгрузки рудной массы (автономные погрузочно-доставочные машины (ПДМ)) и бурении веерных скважин самоходными буровыми установками (СБУ).

С помощью полученного плана были проанализированы первые месяцы добычных работ на участке. По итогам анализа (изучения сформированного отчёта) было выявлено, что для поддержания необходимой производительности достаточно двух самоходных буровых установок на данный период (Рисунок 4). До полного окончания процесса бурения веерных скважин, в камере не будет производиться никаких других технологических операций. Следовательно, нет никаких ограничений по применению автономных СБУ.

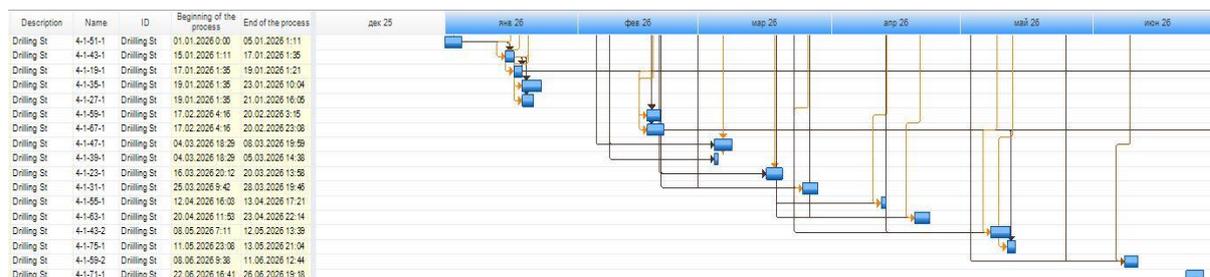


Рисунок 4. Циклограмма процесса бурения веерных скважин в первые месяцы отработки

Возможность внедрения автономных ПДМ была рассмотрена с начального этапа очистных работ на участке автоматизации.

В пространстве динамической 3D модели был произведен подробный анализ первых десяти камер, вовлекаемых в отработку, на возможность применения автономного оборудования в процессе отгрузки рудной массы. В ходе данного анализа, в пространстве 3D модели произведено формирование уникальных маршрутов транспортирования рудной массы из одновременно обрабатываемых камер, расположенных в непосредственной близости друг относительно друга (Рисунок 5). Наглядно видно, что такие маршруты действительно возможно задать, что позволяет применять автономные ПДМ при отработке данных камер.

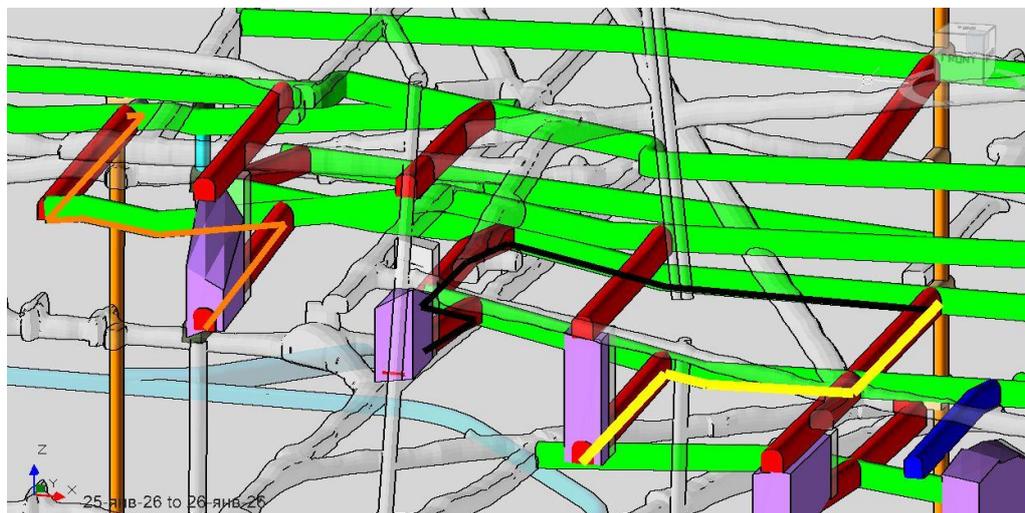


Рисунок 5. Трасса транспортирования рудной массы при отработке камер

Заключение

Таким образом, сформированный при помощи использования современных ПК отчет позволяет оценить максимально подробную картину предполагаемой отработки участка, выявить уязвимые места, и самое главное в оперативном режиме вносить изменения в календарный график, устраняя тем самым слабые места выявленные в ходе планирования.

Кроме того, полученные в ходе планирования данные позволили произвести анализ возможности применения автономного оборудования на каждом из технологических процессов (где это целесообразно), а также выявить конкретные временные интервалы эффективного использования данного вида техники.

УДК. 622.86:622.012.3:622.4

УЛУЧШЕНИЕ САНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ

МИРСАИДОВА Ф. А.

Горно-металлургический институт Таджикистана, Чкаловск

Аннотация. Для большинства отраслей народного хозяйства проекты промышленной вентиляции, если они отражают требования существующих норм проектирования, оказались достаточным для создания положительного эффекта. В данном случае таким эффектом считается достижение в период эксплуатации производственного здания нормативного санитарно-гигиенического состояния воздуха рабочей зоны без дополнительных дорогостоящих реконструкций. В этом плане рассматриваемая статья предсавляет большой интерес и показывает, в каком направлении идет решение проблемы.

Ключевые слова: санитарное состояние, атмосфера карьеров, санитарно-гигиеническое состояние, вредные газовые примеси, вентиляторные установки, сжатый воздух.

IMPROVEMENT OF THE SANITARY CONDITION OF THE ATMOSPHERE OF DEEP QUARRY

MIRSAIDOVA F. A.

Mining-metallurgical Institute of Tajikistan, Chkalovsk

Abstract. For most sectors of the national economy, industrial ventilation projects, if they reflect the requirements of existing design standards, have been sufficient to create a positive effect. In this case, such an effect is considered to be the achievement of the normative sanitary and hygienic state of the air in the working area during the operation of the production building without additional expensive reconstructions. In this regard, the article under consideration is of great interest and shows in which direction the problem is being solved.

Keywords: sanitary condition, quarry atmosphere, sanitary and hygienic condition, harmful gas impurities, fan installations, compressed air.

В настоящее время не подвергается сомнению, что актуальность проблемы создания безопасных атмосферных условий на рабочих местах в карьерах по мере их углубления постоянно возрастает, а социальные и экономиченские последствия очевидны – без решения этой проблемы невозможен прогресс в области открытых горных работ. Важным этапом решения проблемы является создание системы контроля параметров атмосферы карьеров, без которой невозможно своевременно предупредить о сверхнормативном загрязнении воздуха и принять соответствующие меры безопасности. В этом плане рассматриваемая статья предсавляет большой интерес и показывает, в каком направлении идет решение проблемы.

Однако далеко не во всех вопросах решение этой проблемы идет эффективно и дает положительный результат. Это связано с рядом объективных трудностей, вызванных

попытками управления такой сложной вероятностной системой, как атмосфера карьера. Состояние загрязнения атмосферы карьеров зависит как от регулируемых, так и от нерегулируемых факторов: орографии местности, метеорологических условий и времени года, видов технологических процессов и системы разработки конкретного месторождения, типов, количества и режимов работы горного и транспортного оборудования.

Естественно, в таких условиях важным направлением решения проблемы является подавление вредных технологических выбросов в атмосферу карьера в местах их образования. С момента постановки проблемы оздоровления атмосферы карьеров в области борьбы с пылью достигнуты заметные результаты путем применения комплекса различных средств- от пылеулавливания до пылеподавления.

Намного труднее бороться с вредными газообразными выделениями и особенно в присутствии людей. До настоящего времени в мировой практике не удалось создать на эффективных нейтрализаторов выхлопных газов для оборудования с дизельным приводом, ни противогазовых фильтров для очистки воздуха в кабинах горного и транспортного оборудования. Не дают положительного эффекта снижения концентрации вредных газовых примесей в системы (и отдельные установки) искусственного проветривания, хотя в наших отечественных публикациях можно найти ряд примеров, показывающих эффективность их использования.

Дискуссии по поводу эффективности применения искусственного проветривания карьеров по газовому фактору ведутся уже несколько лет. Результаты исследований (натуральные наблюдения и расчеты) доказывают бесперспективность искусственного проветривания по газовому фактору карьеров и рабочих зон в них как с гигиенических, так и с энергетических позиций. Сторонники применения искусственного проветривания ссылаются на положительный опыт работы вентиляторных установок в карьерах. Конец дискуссиям мог бы быть положен проведением измерений параметров струй, создаваемых вентиляторными установками, и окружающей их области обратных течений и концентраций газовых примесей в этих зонах. Но пока нет ни унифицированной методики, ни средств измерений в этих сложных условиях. Поэтому в настоящее время рано говорить о положительных результатах искусственного проветривания (в частности, о снижении загазованности).

Таким образом, создание нормализованной газовой обстановки на рабочих местах в карьерах остается по еще нерешенной проблемой, и управление состоянием атмосферы возможно лишь косвенным методом: на основе надежного контроля и прогноза опасных по загазованности ситуаций-изменением организации горных и транспортных работ в карьерах эти периоды (вплоть до временной остановки карьера). Такой способ вряд ли можно назвать управлением атмосферой, но, без сомнения, он существенно повышает безопасность труда в карьере даже при отсутствии средств нормализации газового состава атмосферы.

За рубежом этот способ широко используется. Расчеты показывают, что для глубоких карьеров нашей страны прогнозируемые простои от загрязнения атмосферы составят более 22% времени года. Для компенсации этих простоев потребуется примерно на треть увеличить количество добычных забоев соответственно на 40% капвложения в связи с неритмичностью в этом случае работы карьеров- а это путь трудный и дорогой.

Другим путем обеспечения безопасности воздушной среды на рабочих местах в карьере представляется система автономного воздухообеспечения каждого рабочего. В первую очередь здесь идет о работающих на стационарных рабочих местах, а также об инженерных и технических службах в карьере, снабженных автомобилями. При практически полном отсутствии новизны система создается на основе недефицитного стандартного оборудования, выпускаемого нашей промышленностью: кислородных компрессоров, баллонов для сжатого воздуха, защитных шлемов или касок с поддувом воздуха. Нельзя сказать, что здесь все технические вопросы решены. Требуется

конструкторская разработка и компоновка узлов системы, процессов автоматизации зарядки и механизации перестановки баллонов, но это не является непреодолимыми препятствиями по сравнению с общей проблемой, а экономичность работы системы автономного воздухообеспечения зависит от надежности системы контроля среды. Вместе с тем такая система позволяет сделать работу независимой от состояния воздушной среды при любой планируемой глубине карьера и иметь резерв времени для глобального решения проблемы.

Таким образом, в сложившейся ситуации одним из основных вопросов, имеющим возможность быстрого и положительного решения, является создание системы оперативного контроля и прогноза состояния атмосферы карьера. В этой связи необходимо проанализировать идеологию создания этих систем. Как видно из статьи, в ряде ведомств страны предпринимаются попытки решать задачу, объединяя в ее рамках специалистов разных областей знаний. В этом случае цель достигается медленнее, а сами системы контроля различны по качеству, средствам, разрешающей способности и во многом зависят от уровня квалификации привлекаемых к работам специалистов. Поэтому не может быть и речи об унификации системы контроля. Кроме того, остаются нерешенными в должной мере вопросы организации надежного контроля атмосферы карьера и оптимизации параметров самой системы в связи с тем, что специалисты по аэрологии карьеров невольно отвлекаются на решение несвойственных им задач, а эти главные, на наш взгляд, вопросы остаются в стороне. Значительно быстрее, качественнее и дешевле создать систему контроля, если создавать соответствующие ее узлы специализированными организациями.

Аэрологии должны на основе исследований разработать методы обоснования параметров системы контроля и сформулировать технические требования к системе (диапазон измеряемых параметров, точность, частота и длительность измерений). Особое значение имеет метод определения количества и координат размещения пунктов контроля для надежной оценки состояния атмосферы и его прогноза.

Эти вопросы важнее, чем дистанционное включение вентиляторов в карьерах при очевидной недостаточной надежности контроля и прогноза состояния карьерной атмосферы. Работа вентиляторных установок по приведенным в статье блок-схемам алгоритмов вряд ли в состоянии повысить безопасность воздушной среды в карьере, так как расчет их режимов основан на недостаточных исходных данных. Представляется, что это «нетипичные» частности.

В эти связи получение необходимых и достаточных исходных данных может быть компенсировано на основе метода статистических испытаний - математическим моделированием различных метеоситуаций в соответствии с розой ветров, диапазоном скоростей и температурными градиентами при вероятностном подходе к системе. Определенные по рассчитанным метеополям пункты максимальной чувствительности к изменению метеорологической ситуации позволяют организовать надежный контроль физических параметров атмосферы карьера. На следующем этапе, наложив на рассчитанные метеополя траектории и интенсивности выделения вредных примесей, определяются поля концентраций и зоны контроля газовых параметров атмосферы карьера, если прослеживается определенная стабильность этих зон. В противном случае надежный контроль может быть обеспечен организацией пунктов газового контроля на каждом рабочем месте.

Обращает на себя внимание своеобразное отношение эксплуатационников к системам контроля атмосферы карьеров. Все они (дистанционные и автоматизированные) успешно работают в процессе опытной эксплуатации, а затем «исчезают» как ракетопосылатели при входе в плотные слои атмосферы. Для успешной координации и проведения работ необходимо централизовать выделяемые министерствами долевыми фонды на решение проблемы и передать их координационному совету, организованному их научных руководителей заданий. В противном случае, как показывает опыт, на решение проблемы уйдут многие-многие годы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Битколов Н. Э., Медведев И. И. Аэрология карьеров. М.: Недра, 1990. 302 с.
2. Бухман Я. З., Беляев С. В. Возможность искусственного проветривания карьеров с помощью реактивных двигателей // Цветная металлургия. 1975. № 3. С. 61–65.
3. Битколов Н. Э. Улучшение условий труда в карьерах. М.: Недра, 1975. 240 с.
4. Гирусов Э. В., Бобылев С. Н., Новоселов А. Л., Чепурных Н. В. Экология и экономика природопользования. М.: Закон и право, ЮНИТИ, 1998. 455 с.
5. Проект реконструкции карьера «Удачный» с целью поддержания мощности. Мирный: Якутнiproалмаз, 2000. 276 с

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ ГОРНОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

НАЗАРМАТОВ А. А.

Горно-металлургический институт Таджикистана, Чкаловск

Аннотация. Актуальность управление развитием горнорудных предприятий повышается на фоне повышения важности устойчивого развития промышленности и охраны окружающей среды. В статье рассматриваются некоторые вопросы, касающиеся управлению развитием горнорудных предприятий и факторы, влияющие на него. Показана взаимосвязь управления предприятием, запасов полезного ископаемого и техники и технологии обработки месторождения с развитием предприятия и принципами управления этим же процессом.

Ключевые слова: управление, развитие, горнорудное предприятие, эффективность, полезные ископаемые

SOME ISSUES OF MINING ENTERPRISES DEVELOPMENT MANAGEMENT

NAZARMATOV A. A.

Mining-metallurgical institute of Tajikistan, Chkalovsk

Abstract. The relevance of managing the development of mining enterprises is increasing against the backdrop of increasing importance of sustainable development of industry and environmental protection. The article discusses some issues related to the management of the development of mining enterprises and the factors influencing it. The relationship between enterprise management, mineral reserves and equipment and technology for mining a deposit with the development of an enterprise and the principles of managing this process is shown.

Keywords: management, development, mining enterprise, efficiency, minerals.

Как и другие в отрасли экономики страны, предприятия добывающей отрасли должны соответствующим образом реагировать на изменения внешней и внутренней среды. Это требует постоянного развития на основе параметров изменения среды, что может обеспечивать высокого уровня эффективности функционирования. Для реализации поставленной цели необходимо осуществлять эффективное управление развитием. Управление экономическим развитием представляет собой оптимизация деятельности по обмену и распределению материальных ресурсов в ходе осуществления производственной деятельности, нацеленного на получения намеченного уровня эффекта. Наряду достижения заданных параметров, управления развитием ориентируется и на удовлетворения потребностей субъектов предприятия, что реализуется путем совершенствования механизмов управленческого воздействия.

Рациональное управление развитием горнодобывающего предприятия становится одним из решающих факторов устойчивого развития, так как оно влияет на производительности труда, интенсивность производственного процесса и оптимальности организации последнего. Поэтому, управленческий персонал горнодобывающих предприятий несет немаловажную ответственность в виде оптимального и рационального распределения и использования ресурсов, направленных на развитие предприятия.

Основными причинами неэффективности деятельности предприятий и препятствующими развитию являются неопределенности стратегия развития, низкая уровень эффективности организационных структур, вопросы информационного обеспечения на всех уровнях управленческой иерархии, недостаточная эффективность обратной связи при реализации управленческих решений, пробелы в эффективном управлении затратами, несоблюдение принципов зависимости величины заработной платы от результатов работы.

Следует подчеркнуть, что ряд предприятий направляют ресурсы на наращивание капитала и основных фондов в технико-технологическую реновацию производства, хотя их можно сосредоточить в интенсивное развитие. При этом инновационная деятельность, осуществляемая на основе нерациональной организации и управления, а также при низком квалификационном уровне работников, особенно на горных предприятиях, не может привести к желаемому уровню эффективности и результатов деятельности. Поскольку горнорудная промышленность отличается особенностью производственных процессов и применяемой техники и технологии, требует специфический подход к эффективному природопользованию и природоохранной деятельности.

Для решения вопросов плавной переориентации на эффективное и устойчивое развитие горнорудных предприятий необходимо перемены в области научно-методических основ управления, совершенствования методологии, введение совершенно новые методы.

Можно отметить основные принципы управления развитием, которые отражают особенности горнорудных предприятий:

1. Жизнедеятельности предприятия прогнозируется в зависимости от срока полной разработки месторождения полезных ископаемых;

2. Решения краткосрочного характера не должны негативно влиять на горнотехнические условия разработки месторождения, на уровень производительности оборудования и работников в будущем.

Продолжительности функционирования горнодобывающих предприятий зависит от объема запасов полезного ископаемого. Поэтому, при реализации плана развития предприятия необходимо учитывать эти особенности, что влияет на эффективности развития и окупаемости средств, направленных на развития. Управление развитием горнодобывающего предприятия направлено на последовательное повышение уровня совершенства основных подсистем. Уровень совершенства, в свою очередь, определяется соответствием критериям, устанавливаемым посредством задания приемлемых численных значений для тех или иных показателей. Основу управления развития предприятия составляет процесс по повышению уровня качественных и количественных технико-экономических параметров деятельности предприятия, которые могут привести к удовлетворению интересов предприятия.

Можно выделить основных групп факторов, которые способствуют результативности процесса управления развития и его устойчивостью в условиях изменения внешней и внутренней среды:

1. Менеджмент предприятия.
2. Запасы полезного ископаемого.
3. Техника и технология отработки месторождения.

Менеджмент предприятия можно представить в виде административного ресурса и качества управления. Первого можно рассматривать по уровням взаимодействия – государственные органы управления местного, регионального, отраслевого уровня. По повышению уровня административного ресурса, которые привлечены к решению вопросов горных предприятий, повышается и возможность и вероятности решения этих вопросов. Что касается качеству управления, оно разделяется на три категории: уровень цели, точность их достижения и расходы на достижения.

Запасы полезного ископаемого рассматриваются в двух периодах: первый – краткосрочный и среднесрочный, второй – долгосрочный. При первом варианте запасы полезных ископаемых воздействуют на потенциал горного предприятия гибко функциониру-

вать в современных условиях: требования и спрос на добычу полезного компонента; горно-геологические и природно-климатические факторы, влияющие на объем добычи и расходы, связанные с этим процессом. При втором варианте балансовые запасы полезного ископаемого воздействуют на продолжительность жизненного цикла, а также на возможности существования и развития предприятия. Кроме этого, при втором варианте, устойчивость развития горных предприятий непосредственно зависит от рационального использования природных ресурсов, имеющихся на месторождении. Когда предприятие действует только на основе краткосрочных перспектив, оно производит добычи наиболее качественных запасов с минимальными вспомогательными процессами. В результате сокращаются запасы полезных ископаемых, которых можно с высокой результативностью добывать в последующих периодах. Это приводит к ухудшению горнотехнических условий добычи в долгосрочной перспективе и естественно требует больше расходов.

Известно, что природные ресурсы, которые добываются на горных предприятиях исчерпаемы и не возобновляются. Нерациональное функционирование горных предприятий становится барьером их устойчивого развития. Поэтому, при осуществлении управленческой деятельности ориентированного на развития, на горных предприятиях, следует стремиться максимального использования ресурсного потенциала месторождения.

Техника и технология добычи определяют такие факторы, как производительность труда и безопасность производственного процесса. Следует отметить, что почти все горные предприятия, функционирующие на территории Республики Таджикистан, оснащены современным оборудованием, особенно в тех предприятиях горной отрасли, которые созданы в последнее время, применяют технологии мирового уровня. Техно-технологическое перевооружение, проводимое на существующих предприятиях, способствовало по определенной степени догонять уровня производительности добычи и переработки полезных ископаемых зарубежных стран.

Таким образом, устойчивость и уровень эффективности развития горнорудных предприятий непосредственно зависят от управленческой деятельности. Управления развитием горнорудных предприятий влияет на рациональность природопользования и охраны окружающей среды. В конце концов это служит основой для повышения эффективности горнодобывающей промышленности, развития регионов и повышения уровня жизни персонала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каплан А. В. Управление социально-экономическим развитием горнодобывающего предприятия: теория и методология: дис. ... д-ра экон. наук. Челябинск, 2015. 327 с.
2. Пронин Э. М., Васильев В. Е., Цветков В. Ю. Факторы, определяющие устойчивое развитие предприятий минерально-сырьевого комплекса, и их влияние на оценку результатов деятельности предприятий // Записки Горного института. 2011. Т. 191. С. 176–182.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ НЕФТЕСОРБЕНТА

САВИНА Т. Е.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

Аннотация. В статье рассматривается комплексный подход в решении экологических проблем Урало-Сибирского региона путем использования отходов деревообработки в качестве средства для ликвидации последствий нефтяных аварий. Для уменьшения необратимых последствий экологических катастроф, необходима оперативная локализация и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. Одним из способов рекультивации разливов нефти и нефтепродуктов является применение нефтесорбентов. В настоящее время целлюлозосодержащие сорбенты, полученные на основе ежегодно возобновляемых отходов сельского хозяйства и лесопромышленного комплекса, привлекают внимание благодаря доступной и дешевой сырьевой базы. Недостаток опилок, щепы и др. древесных отходов заключается в низкой гидрофобности и соответственно плавучести - необходимой характеристики для результативного использования сорбента для сбора нефти на воде. Повышение гидрофобности органических сорбентов, без применения химических реагентов, возможно путем термообработки. Эффективное использование сыпучих целлюлозосодержащих нефтесорбентов зависит от размеров частиц. Поглощение нефтепродуктов происходит за счет адсорбции, благодаря взаимному притяжению молекул нефти и сорбента на границе раздела фаз и меняется в зависимости от свободной площади и свойств поверхности сорбента.

Ключевые слова: нефтесорбент, гидрофобность, нефтеемкость, экологическая безопасность, термомодификация, геометрический метод.

GEOMETRIC METHODS FOR STUDYING OILSORBENT PROPERTIES

SAVINA T. E.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

Abstract. The article considers an integrated approach in solving the environmental problems of the Ural-Siberian region by using woodworking waste as a means to eliminate the consequences of oil accidents. To reduce irreversible consequences of environmental disasters, it is necessary to promptly contain and respond to accidental oil and petroleum product spills. One of the ways to reclaim oil and petroleum product spills is to use oil sorbents. Currently, cellulose-containing sorbents obtained from annually renewable waste from agriculture and the timber industry are attracting attention due to an affordable and cheap raw material base. The disadvantage of sawdust, chips and other wood waste lies in the low hydrophobicity and, accordingly, buoyancy - the necessary characteristic for the effective use of sorbent for collecting oil on water. Increasing the hydrophobicity of organic sorbents, without the use of chemical reagents, is possible by heat treatment. The effective use of loose cellulose-containing oil sorbents depends on the particle size. The absorption of petroleum products occurs due to adsorption, due to the mutual attraction of oil and sorbent molecules at the phase interface and varies depending on the free area and properties of the sorbent surface.

Keywords: oilsorbent, hydrophobicity, oilcapacity, environmental safety, thermal modification, geometric method.

Одной из серьезных экологических проблем Урало-Сибирского региона является загрязнение окружающей среды со стороны нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей отраслей промышленности, связанных с неизбежностью утечек нефти и нефтепродуктов. Нефтеразливы оказывают пагубное воздействие на флору и фауну, представляя особенную опасность для замкнутых водоемов. Нефтяная пленка, образующаяся на поверхности, препятствует попаданию кислорода и солнечного света в толщу воды, необходимого для жизни растений и животных.

Только за 2020-2022 годы, в России, занимающей второй место по добыче нефти и первое по количеству аварийных разливов нефти и нефтепродуктов, произошло восемь аварий. Самая крупная из них произошла 29.05.2020 года в Норильске, когда в результате разгерметизации бака с дизельным топливом, свыше 20 тыс. тонн нефтепродукта попало в окружающую среду.

В это время, 01.01.2021 г. вступает в силу закон об ответственности нефтяной и газовой отрасли [1], который обязывает компании разрабатывать планы мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах. План мероприятий должен предусматривать:

- количество сил и средств, используемых для локализации и ликвидации последствий аварий на объекте (далее – силы и средства), и их соответствие задачам по локализации и ликвидации последствий аварий;
- организацию взаимодействия сил и средств;
- состав и дислокацию сил и средств.

Очевидно, при любой катастрофе сначала необходимо локализовать проблему. Ущерб от аварии напрямую связан с площадью загрязнений. Скорость распространения нефти по водной поверхности в первые часы разлива составляет 3–3,5 % от скорости ветра и 10–60 % от скорости течения [2];

Средств локализации немного: применяются заграждения из бонов, при этом боны могут содержать различные сорбирующие материалы. Возможно получение ограждений нефтяного пятна из конгломератов нефти и сыпучих сорбентов, при распылении последних по границам площади нефтеразлива. Недостатком всех бонов является ограниченный объем удерживаемой нефти. Гидростатическое давление нефти по мере заполнения акватории бона возрастает по его передней стенке и со временем нефть либо перетекает поверх бона, либо прорывается снизу, под пригрузом. Положение усугубляется при волнениях водоема и при установке в замерзшие водные поверхности, при подледной утечке нефти. В это случае могут применяться сыпучие гидрофобные нефтесорбенты. Нефтесорбент запускается под лед выше по течению места разлива, а ниже прорубается лед поперек реки или в шахматном порядке, куда будет выталкиваться водой с нефтью и механически удаляться. Использование сыпучих нефтесорбентов удобно и в закоряженных водоемах со сложным донным рельефом, где другие виды сорбирующих материалов могут зацепиться или повредиться.

К средствам ликвидации относятся сорбенты в различном виде, механические средства сбора нефти, а также вещества биологического и химического разложения нефтепродуктов [2]. Механические устройства подходят для сбора значительного по толщине слоя нефти и подразделяются на пассивные, такие как, пороговые и лотковые нефтесборщики, применяемые на реках с сильным течением и активные - оборудование с подвижными элементами (дисками, барабанами, лентами, ершами, щетками и др.), используются на озерах, водохранилищах, болотах, прибрежных зонах. Для удаления тонкой нефтяной пленки, оставшейся после механического сбора, обычно применяют различные нефтесорбенты.

В качестве универсального средства для локализации и ликвидации последствий аварий предлагается использовать сыпучий нефтесорбент из термомодифицированного опила [3]. Использование вторичных материалов заготовки и первичной обработки древесины для сырья нефтесорбента, не только снижает себестоимость, но способствует

утилизации отходов лесной промышленности и улучшению экологической обстановки в местах лесозаготовок. В настоящее время, на территории Урала и западной Сибири скопилось огромное количество отходов лесопиления в виде коры, опила, щепы и др., способствующих развитию паразитов и представляющих повышенную опасность в пожарном отношении. Ежегодно в России в результате деятельности предприятий лесопромышленного комплекса образуется 68–74 млн м³ древесных отходов и лишь 48–58 % из них перерабатывается [4]. Большая плотность нижних слоев отвалов опила и щепы, оставшихся еще с советского периода, не пропускает воздух и предотвращает биологическое разложение. Учитывая удаленность мест лесозаготовок от больших населенных пунктов, вывоз данных отходов в виде сырья для дальнейшей переработки экономически нецелесообразен из-за разбалансированной транспортно-логистической схемы. Географически, обе проблемы связанные с потенциальными нефтеразливами и отходами лесной промышленности, находятся непосредственно в одних районах, за исключением морских акваторий.

Древесный опил может применяться в качестве дешевого эффективного нефтесорбента [5], в частности на водной поверхности, при повышении его гидрофобности. Одним из способов повышения гидрофобности опила является термомодификация. Технология получения термомодифицированного опила доступна, не требует химических реагентов, производство может быть размещено близко от сырьевой базы и склада для хранения запасов сорбента, необходимых для быстрого реагирования в случае аварийной ситуации.

Термомодифицированная целлюлозосодержащая частица сорбента имеет пористую структуру. Основные геометрические параметры пористой структуры материалов, прогнозирующие сорбционную способность [6]:

Удельная поверхность – площадь межфазной поверхности, отнесенная к единице объема или массы пористого материала. Для свободнодисперсных систем:

$$S_{уд} = \frac{k}{\alpha \rho}, \frac{м^2}{кг}$$

k – коэффициент, отвечающий за форму частиц. Для куба и сферы $k = 6$, для стержня $k = 4$, для пластины $k = 2$;

α – размер частиц;

ρ – плотность частиц

Удельная площадь поверхности обратно пропорциональна размеру частиц. Минимальный предельный размер частицы, зависит от конкретного материала, но в общем должен быть не менее 0.1 мкм. В противном случае частицы не будут смачиваться нефтью и не произойдет процесс адсорбции.

Плотность частиц (насыпная плотность) это масса единицы объема свободно лежащего слоя сорбента, включая объем пор собственно в частице сорбента и пустоты в промежутках между частицами сорбционного материала. Плотность зависит от пористости.

Пористость. Удельный объем пор.

Под пористостью Π понимают отношение объема пор V_p (свободного объема тела) к общему объему всего тела V , т.е. долю свободного объема тела, занимаемую порами:

$$\Pi = \frac{V_p}{V}$$

Под удельный объём пор понимают отношение объема всех пор к массе пористого тела m :

$$V_{уд} = \frac{V_p}{m}, \frac{м^3}{кг}$$

При анализе сорбционной способности материала необходимо учитывать также форму и размеры пор.

Размеры пор.

Растительные целлюлозосодержащие материалов содержат поры разных размеров, среди которых присутствуют открытые (сквозные и тупиковые) поры-каналы, пронизывающие весь объем, и не сообщающиеся поры-ячейки [7].

По размерам поры согласно ИЮПАК (Международный Союз по чистой и прикладной химии) делятся на:

- макропоры, имеющие размер свыше 50 нм;
- мезопоры, размеры которых лежат в интервале от 2 до 50 нм;
- микропоры с размерами менее 2 нм.

В последнее время микропоры, в свою очередь, были подразделены на более тонкие ультрамикропоры, в которых адсорбционный потенциал повышен из-за близости стенок пор, и супермикропоры, размер которых лежит в диапазоне между ультрамикропорами и мезопорами

При этом для анализа процесса нефтесорбции необходимо учитывать размер молекул нефти, который составляет приблизительно 5-10 нм [8].

Нефтесорбент из термомодифицированного опила сосны и осины - порошок, коричневого цвета (рис. 1), состоящий из частиц разного размера. Нефтесорбент был получен на экспериментальной установке конвекционного типа. В отличие от других установок подобного типа, сушка, термомодификация и охлаждение продукта происходили в одной камере [9].

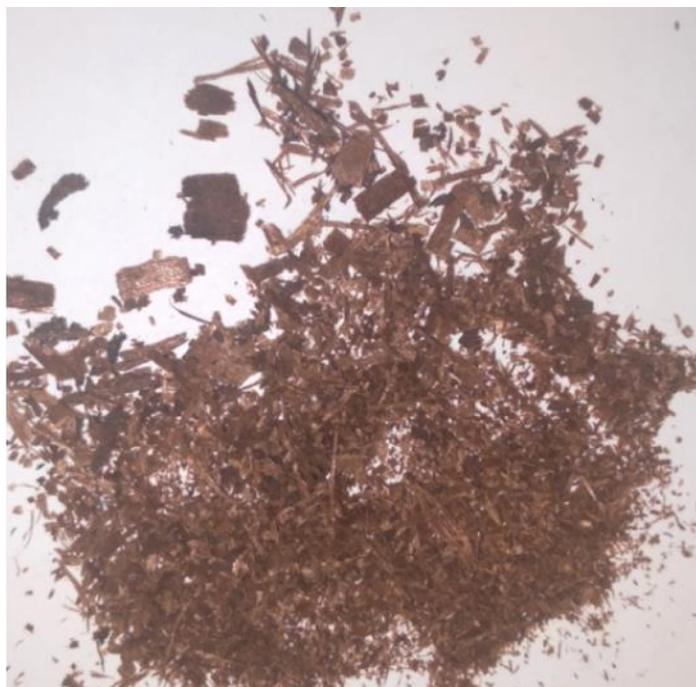


Рис. 1. Нефтесорбент из термомодифицированного опила сосны и осины

После оценки экспериментальным путем [3] основных характеристик сорбента – нефтеемкости и водопоглощения образцов, полученных при разных условиях термообработки, установлены предпочтительные температурный режим 200–230 °С и временной диапазон 3–4 часа. При этом нефтеемкость составляет 4,94–5,44 г/г, водопоглощение – 4,62–5,40 г/г.

С целью изучения зависимости поглотительной способности от размеров частиц проводилось фракционирование сорбента на 3 части. Фракционный состав термомодифицированного опила определялся просеиванием через сита с отверстиями 1 и 3 мм. Фракция 1мм и менее составила 63 %, фракция от 1 до 3мм (включительно – 21 %, фракция более 3 мм – 16 %. Определение нефтеемкости образцов каждой фракции проводилось по методике в соответствии с ГОСТ 33627-2015 (Уголь активированный. Стандартный метод определения сорбционных характеристик адсорбентов). В качестве нефтепродукта использовалась нефть из месторождений близ города Нягань, ХМАО, с относительной плотностью 0,82-0,825. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Определение нефтеемкости образцов

Номер образца	Вид и размер древесных частиц	Сорбционная характеристика по нефти (нефтеемкость) г/г
1	Термомодифицированный опил осины. Фракция 1 мм и менее, составляющая 63 % после термообработки	5,4
2	Термомодифицированный опил осины. Фракция от 1мм до 3мм (включительно), составляющая 21 % после термообработки	5,8
3	Термомодифицированный опил осины, фракция более 3мм составляющая 16% после термообработки	3,7

Установлено, что верхний критический размер частиц термомодифицированного опила как сорбента 3 мм, при увеличении размеров нефтеемкость резко снижается. Незначительное уменьшение нефтеемкости первой фракции свидетельствует о наличии содержания очень мелких частиц, воздействие которых на поверхность нефти не превышают силы ее поверхностного натяжения.

Экспериментальные данные подтверждают, что поглощение нефтепродуктов происходит за счет адсорбции, благодаря взаимному притяжению молекул нефти и сорбента на границе раздела фаз и меняется в зависимости от свободной площади и свойств поверхности сорбента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности»: приказ Ростехнадзора от 15.12.2020 г., №534. Доступ из справ.- правовой системы «Консультант Плюс».
2. Пат. 94 021 676. Российская Федерация, МПК В01J 20/20 Способ получения сорбента для очистки воды от нефтепродуктов / Дунин-Барковский Р. Л., Добижа Е. В.; заявители и патентообладатели Институт вулканической геологии и геохимии Дальневосточного отделения РАН, Акционерное общество "Информационные, транспортные, энергетические технологии". - № 94021676/26; заявл. 08.06.1994, опубл. 10.06.1996
3. Каменщиков Ф. А., Богомольный Е. И. Нефтяные сорбенты. - Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. - 268 с.
4. ЛесПромИнформ: <https://lesprominform.ru/news.html?id=10665> (дата обращения 20.01.2023)
5. Филина Н. А. Исследование сорбционных свойств древесных отходов для сбора нефтепродуктов с последующей утилизацией их в виде топливных брикетов / Н. А. Филина, С. Я. Алибеков // Экология и промышленность России. 2012. № 4. С. 56–58.
6. Гаврилова Н. Н. Анализ пористой структуры на основе адсорбционных данных: учеб. пособие / Н. Н. Гаврилова, В. В. Назаров. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2015. 132 с.

7. Якубовский С. Ф. [и др.] Особенности микроструктуры отходов сухой окорки сосны как сырья для получения нефтяных сорбентов // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Прикладные науки. - 2011. - N 11. - С. 154-15
8. Справочник химика. URL: <https://www.chem21.info/info/1472913/> (дата обращения 20.01.2023)
9. Пат. 27 33374. Российская Федерация, МПК C02F 1/28, C10B 47/30, C10B 53/02. Способ получения сорбента для сбора нефти и нефтепродуктов / Кралин В. С., Минулин Р. Ф., Якупов И. Ш.; заявители и патентообладатели Кралин В. С., Минулин Р. Ф., Якупов И. Ш. № 2020110034; заявл. 10.03.2020, опубл. 01.10.2020, Бюл. №22. – 32с.

ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕМ В МИРОВОЙ НАУКЕ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ РОССИИ

ЛЕБЕДЕВ Ю. В., СТИХИН А. А.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

Аннотация. Изучены основные (известные) публикации мировой науки в сфере управления недропользованием. Подробно рассмотрены положения «Хартии природных ресурсов» (2017). Представлен сравнительный анализ предложений зарубежных исследований и состояния российской науки в сфере недропользования.

Ключевые слова: управление недропользованием, мировая наука недропользования, научные положения.

PRINCIPLES OF SUBSOIL USE MANAGEMENT IN WORLD SCIENCE AND THEIR USE IN THE CONDITIONS OF RUSSIA

LEBEDEV YU. V., STIKHIN A. A.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

Abstract. The main (well-known) publications of world science in the field of subsurface management have been studied. The provisions of the "Charter of Natural Resources" (2017) are considered in detail. A comparative analysis of the proposals of foreign research and the state of Russian science in the field of subsoil use is presented.

Keywords: management of subsoil use, world science of subsoil use, scientific provisions.

Введение

Мировая наука (Natural Resource Charter – Англия, Германия, Нидерланды [1], Technische Universitat Bergam akademie Freiburg – Германия [2], Russo-German materials forum [3]) полагает основной целью недропользования обеспечение приемлемой для современных условий социальной отдачи от освоения природно-ресурсного потенциала; она исходит из анализа роли и места природных ресурсов в развитии человечества (Edward V Barbier [4]), акцентирует внимание на изучении ресурсных режимов (Oran Young [5]) и их социальных институтов, анализирует процедуры взаимодействия участников процессов освоения и использования подземных ресурсов (Evinor_Ostrom [6]).

Фундаментальные положения развития горнопромышленных производств рассматриваются в монографиях: Jain Ravi K, Zengdi Cindy Cui, Jeremy Domen [7] (исследуют вопросы, связанные с устойчивым развитием добычи и переработки полезных ископаемых: создание «прозрачной» земли, понимание, разработка и управление процессами недр, минимизация экологического следа, защита рабочих и широкой публики); Modak Prasad [8] (доказывает необходимость скорейшего комплексного подхода при формировании устойчивого развития - целей его развития; считает, что перекосы в глобальных материальных потоках, низкая эффективность использования ресурсов и неконтролируемое загрязнение угрожают выживанию планеты, а характеристики ВВП, по его мнению, не являются показателями роста), R. Datta, A. Mukherjee, R. Hannigan [9] (предлагают сосредоточиться на

теоретических и методических основах рационального природопользования: решении проблемы управления окружающей среды с разных точек зрения - естественные науки, бизнес, социальные науки, инженерия); Cengiz Kahraman и İrem Uçal Sari [10] (рассматривают генетические и эволюционные алгоритмы, многокритериальные инструменты принятия решений, оптимизацию и моделирование); Хаббард Дуглас У. [11] (предлагает свой подход к оценке «не измеряемого» через «калиброванную оценку», оценке рисков, рынков, предсказаний, оценке стоимости информации).

Ключевое понятие «приемлемая отдача» в мировой науке рассматривается с отдельных системных позиций: роль природных ресурсов в экономике, изучение ресурсных регионов (периоды добычи), взаимодействие участников производственных отношений), изучение экологического следа и с других позиций. Конкретные научные зарубежные исследования различных объектов недропользования (Bradly C. Sharp A. [12], Mawby Maurice RW. [13], Dubinsi J. [15], Abidi N., Ataee-pour M., Rahmanpour M. [16] и другие) характеризуются инжиниринговым подходом, не включающим системный эколого-социально-экономический анализ. Такая сторона исследований в мире подтвердилась и темами большинства докладов на 12-м Российско-Германском сырьевом форуме (г. Санкт-Петербург, 2019).

Научные положения «Хартии природных ресурсов»

Более 15 лет существует и развивается инициатива так называемой «Хартии природных ресурсов» (Natural Resource Charter) [1], включающая предложения независимой группы учёных и специалистов-практиков (Англия, Германия, Нидерланды). Рекомендации Хартии основываются на накопленном опыте различных стран, на анализе подходов по использованию полезных ископаемых. Предложения «Хартии ...» исходят из того, что:

– при «правильном» использовании богатство полезных ископаемых может стать инструментом экономического и социального прогресса общества;

– при «плохом» использовании полезных ископаемых (по словам «Хартии ...» – их «растрат») они могут вызвать экономическую нестабильность, социальные конфликты и долговременный ущерб окружающей среде.

«Хартия ...» [1] содержит 12 положений: первые 10 по внутреннему управлению недропользования и 2 по международному управлению. Управление использованием полезных ископаемых полагает реализацию последовательности решений при поддержании и контроле их со стороны общества (граждан) и международного сообщества. Такая последовательность решений состоит из трех частей:

– внутренние основы управления недропользованием;

– совокупность экономических решений;

– международные основы управления недропользованием.

Каждое решение рассматривает совокупность вариантов организации недропользования и обоснование компромиссов.

Первое положение «Хартии ...» [1] полагает разработку стратегии, охватывающей все процессы управления недропользованием (экологические, экономические, технологические, социальные). Система недропользования представляет собой совокупность участков месторождения полезных ископаемых и горнопромышленных производств, объединенных потоками энергии, вещества и информации между собой и с окружающей природной средой и с обществом [17]. Целью недропользования здесь является обеспечение приемлемых с экологической, социальной, экономической и технологической позиции потребностей общества в минерально-сырьевых ресурсах [1-11].

Второе положение «Хартии ...» [1] включает обязательную «подотчётность» сферы недропользования обществу и государству; оно реализуется через взаимодействие науки, производства бизнеса и общества. В 1994 г. в «Горном журнале» была опубликована статья Трубецкого К. Н., Каплунова Д. Р. и Чаплыгина Н. Н. [18] о новых задачах горных наук, как системы знаний о техногенном преобразовании литосферы. М. В. Рыльникова в 2019 г. опубликовала [19] статью о «гармоничном развитии» горной промышленности на

основе согласования интересов собственных недр государства недропользователей (бизнеса и образования, населения горнодобывающих регионов (общества)). Основная идея – «как комплексно осваивать и грамотно, не нарушая естественного баланса литосферы, преобразовывать недра Земли».

Положения «Хартии ...» [1] с 3-го по 10-е представляет собой совокупность экономических решений, направленных на то, чтобы использование богатства полезных ископаемых превращалось в устойчивое «процветание» для граждан.

Третье положение «Хартии ...» [1] включает обоснование лучшего «курса» недропользования путем анализа всех экологических, экономических и социальных факторов; в последнее время сюда добавляется и политический фактор.

В России в 1997 г. под редакцией Трубецкого К. Н., Каплунова Д. Р., Малышева Ю. Н. и др. была издана монография «Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли» [20], где были представлены новые принципы разработок месторождений полезных ископаемых; позднее эти принципы были конкретизированы в статьях К. Н. Трубецкого [21–24].

Важным вопросом третьего положения «Хартии ...» [1] является обоснование объемов добычи полезных ископаемых. В России они определяются:

– внутренней необходимостью развития отечественного промышленного производства. Так, на Урале ежегодно перерабатывается около 35 млн. т железной руды, из них собственная добыча составляет 12–14 млн т, остальная завозится из Казахстана; хрома перерабатывается 650–800 тыс.т, из них завозится до 600 тыс.т (в том числе из Турции); марганца перерабатывается до 900 тыс. т, завозится до 800 тыс.т и т.д. В определённой мере эти потребности могут быть удовлетворены при реализации пока, видимо, отложенного мега-проекта «Урал Промышленный – Урал Полярный» [25];

– необходимостью получения валюты для модернизации горнопромышленного комплекса, поскольку износ основных фондов отрасли составляет 51–57 %; доля организаций недропользования, осуществляющих технологические инновации 5,5% (2016 г.), а доля затрат на технологические инновации в недропользовании в общих затратах на выпуск продукции составляет только 1,3%.

– необходимостью увеличения объема добычи определенных видов ресурсов в связи со стратегической необходимостью [26]. В настоящее время в России существует стратегическая необходимость в восстановлении и развитии добычи и переработке редких и редкоземельных металлов как для собственного высокотехнологического промышленного производства (как в Китае), так и для поставки на международный рынок. Стратегической необходимостью является добыча нефти в трудноизвлекаемых месторождениях (например, Баженовская свита в Западной Сибири).

Четвёртое положение «Хартии ...» [1] включает характер налогообложения и систему различных платежей в недропользовании; анализируется действительно ли и в какой форме добыча полезных ископаемых «приносит пользу». Например, при формировании бюджетов территории, в способствовании технико-экономического прогресса в отрасли и всей производственной системы.

В табл. 1 приведены данные по использованию выручки от продажи нефти в различных нефтедобывающих странах.

Таблица 1. Роль нефтедобывающего сектора экономики в формировании бюджета в различных странах мира

Страны	Доля выручки от продажи нефти, поступающая в бюджет государства страны, %
ОАЭ	88–91
Нигерия	82–90
Ангола	82–88
Норвегия	82
США	63–70
Китай	59–62
Колумбия	47–58
Россия	34

В Анголе, Нигерии, ОАЭ более 80–90 % выручки от продажи нефти поступает в бюджет государства; в Норвегии (страна уже несколько лет занимает первое место в Мире по лидерству «счастья» населения) – 82 %. В России же только треть выручки от продажи нефти поступает в бюджет страны, что меньше в 2 раза по сравнению с США, в 2,5–2,8 раза по сравнению с Норвегией, ОАЭ. Следует отметить, что доля налогов от нефтегазового комплекса составляет в России 32 % (2021 г.).

Недропользование следует рассматривать не только как самостоятельный сектор экономики, а как инфраструктуру для последующих перспективных и высокотехнологичных производств. Такое положение обеспечивается регулированием рентабельности. Рентабельность недропользования должна обеспечивать благоприятные условия для последующих производств продуктов с высокой добавочной стоимостью. Регулируемая рентабельность недропользования должна быть минимально необходимой для данного сектора экономики.

На рис. 1 приведены сравнительные уровни рентабельности десяти нефтедобывающих компаний [27].

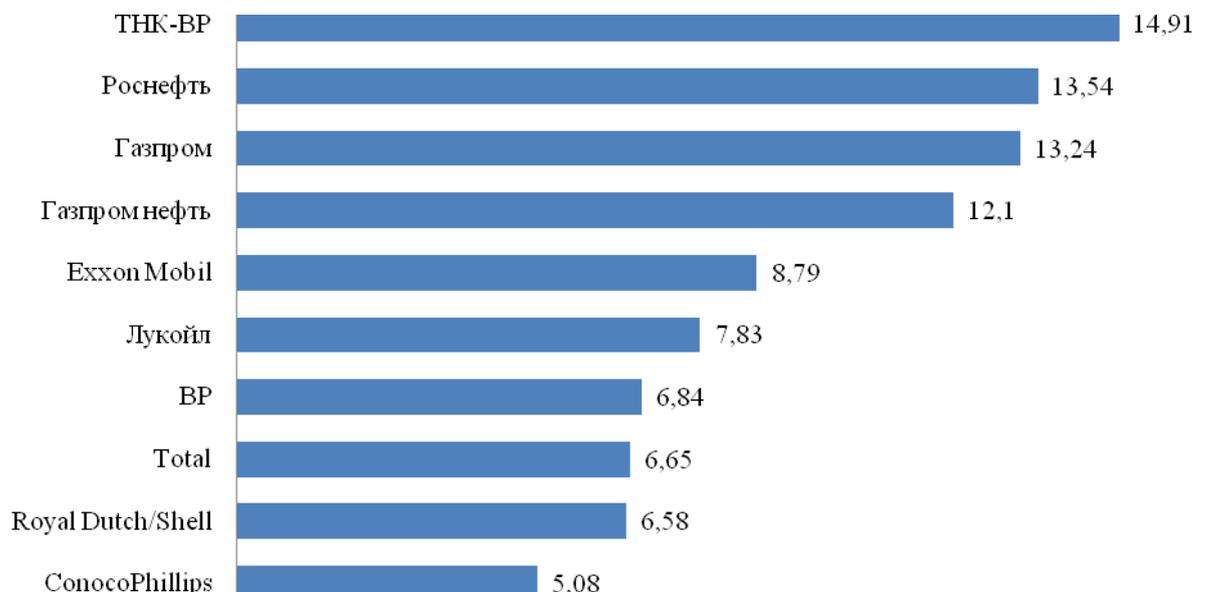


Рис. 1. Сравнение уровня рентабельности 10 нефтегазовых компаний

Высокая рентабельность нынешних российских компаний (в СССР она не превышала 8 %), в 2–3 раза превышающая рентабельность зарубежных компаний тормозит раз-

витие нефтеперерабатывающего комплекса. За последние 30 лет в РФ не построено ни одного нового нефтеперерабатывающего завода; модернизируются только отдельные блоки и секции на существующих предприятиях.

В табл. 2 приведены сравнительные показатели деятельности в России предприятия «Норникель» в 2015-2019 гг. (млрд. руб.).

Таблица 2. Некоторые финансовые показатели деятельности «Норникеля» и расходы бюджета Красноярского края в 2015–2019 гг. (млрд руб.)

Показатель	Годы				
	2015	2016	2017	2018	2019
Выручка	506	549	537	729	876
Чистая прибыль	104	167	127	188	388
Капитальные вложения	103	114	117	99	85
Дивиденды	154	87	178	219	265
Бюджет Красноярского края	182	200	211	238	292

Источник: «Советская Россия», 2023, № 10.

Объём капитальных вложений в технологический прогресс здесь в 2-3 раза меньше суммы дивидендов акционерам компаний; сумма которых сопоставима с бюджетом Красноярского края, где проживает около 3-х миллионов человек.

Пятое положение «Хартии ...» [1] рассматривает воздействие сферы недропользования на окружающую природную среду, анализируются изменения природного потенциала территории, других её ресурсов: земельных (почвенных), водных, природных экосистем. Эта проблема широко рассматривается в мировой и российской горной науке. Так член-корреспондент РАН Пучков Л. А. (2014 г.) отметил, что: «С позиции природного императива минерально-энергетических ресурсов бескризисное существование экономики можно ожидать, если дальнейшее развитие мировой цивилизации будет скоординировано с законами природы». А член-корреспондент РАН Каплунов Д. Р. (2017 г.) считает, что в мировой и отечественной науке недропользования «пока не нашли достаточного отражения принципы устойчивого развития недропользования, аналогичные принципам освоения биологических ресурсов».

Шестое положение «Хартии ...» [1] рассматривает влияние недропользования на социальную структуру территории: на состояние здоровья населения, на уровень его занятости в экономике, на соотношение доходов людей.

В табл. 3 приведены данные о влиянии горного производства на здоровье населения в промышленных городах на Среднем Урале. Здесь четко наблюдается негативное влияние условий жизни в промышленных районах (несмотря на лучшую систему здравоохранения) на население в промышленных городах по сравнению с поселениями в естественных ландшафтах.

Таблица 3. Заболеваемость населения в промышленных и сельских районах Свердловской области

Населенные пункты	Уровень заболеваемости (количество больных на 10000 чел.)			
	Нервной системы	Органов дыхания	Органов пищеварения	Кожи
г. Екатеринбург	21,4	313	24,1	48,3
г. Нижний Тагил	23,8	342	26,3	52,6
г. Каменск-Уральский	17,4	280	24,9	41,9
г. Первоуральск	16,0	267	23,5	43,6
г. Серов	18,4	259	25,8	37,8
г. Асбест	14,8	275	21,7	53,1
Алапаевский район (без г. Алапаевска)	8,2	157	13,4	29,0
Бисертский городской округ	7,4	180	18,2	23,7

Седьмое и восьмое положения «Хартии ...» [1] включают решение задач «управления доходами», предусматривающих устойчивое экономическое развитие всей территории недропользования – всего хозяйственного комплекса на ней. Необходимо инвестировать доходы как в глубокую переработку добываемых полезных ископаемых, так и в организацию эффективного использования других природных благ: ресурсов и экологического потенциала. По выражению «Хартии ...» - «чтобы нынешнее и будущее поколение людей могли наслаждаться щедростью природы». Необходимо защищаться от «неустойчивых потоков» доходов (необоснованных объёмов добычи полезных ископаемых, недостаточных экологических и социальных затрат), поскольку они наносят ущерб экономике будущих периодов и ведут к большим расходам на нейтрализацию отрицательных последствий.

Положения 9 и 10 «Хартии ...» [1] рассматривает вопросы «инвестирования доходов в устойчивое развитие» - способствованию экономическому развитию после истощения добываемых ресурсов. По мнению Р. Солоу (1974, с 321). Это связано «с определением и описанием свойств общественно оптимальной траектории использования данного объема залежей исчерпаемых ресурсов». Суть такого подхода состоит в отказе от реакций рыночной системы на функционирование недропользования и определении наилучшего пути его развития через общественную норму временных предпочтений. Р. Солоу считает, что «выбор общественной ставки дисконта является политическим решением, влияющим на разделение благ между поколениями».

Положения 11 и 12 «Хартии ...» [1], посвящены сотрудничеству в сфере недропользования международного сообщества. Здесь рассматриваются вопросы о том, как международные компании, правительства развитых стран должны сотрудничать в оказании помощи гражданам менее развитых стран, но богатых полезными ископаемыми. К сожалению, объективные научные принципы управления недропользованием в этом направлении подменены субъективными факторами глобализма (Чумаков, 2016) и политики (Валлерстайн, 2003).

Заключение

Мировая наука недропользования исследует фундаментальные подходы по организации горнопромышленного производства (12 положений «Хартии природных ресурсов»), осуществляет инжиниринговый подход при исследовании инновационных технологий по геодинамическим, физико-химическим (скважинным) методам добычи полезных ископаемых, процессов по освоению месторождений бедных, сложноструктурных, геодинамически опасных месторождений с тонковкрапленными рудами.

Мировая наука сопровождает процессы экологизации горнопромышленного производства: в 2018 г. государство Сальвадор законодательно запретило разработку месторождения золота по социально-экологическим соображениям; в США было принято решение не вести разработку урановых месторождений методом скважинного выщелачивания вблизи рек и водоёмов.

Российская наука по недропользованию на мировом уровне осуществляет фундаментальное научное обоснование прогнозируемых экологических последствий недропользования на окружающую среду (В. И. Аренс, 2010; В. И. Голик, 2013), разрабатывает вопросы формирования техногенных ландшафтов (К. Н. Трубецкой, 2018).

ЛИТЕРАТУРА

1. Natural Resource Charter. Natural Resource Governance Institute. 2017.
2. Technische Universität Bergakademie Freiberg.
3. 12-я Российско-германская сырьевая конференция. С. Петербург, 2019.
4. Edward B. Barbier. Natural Resources and Economic Development. Cambridge University Press (2019). <https://doi.org/10.1017/9781316875681>
5. Arild Underdal, Oran R. Young. Regime Consequences Methodological Challenges and Research Strategies. (2004). DOI:10.1007/978-1-4020-2208-1_14
6. Elinor Ostrom. Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action (2015) <https://doi.org/10.1017/CBO9781316423936>
7. Ravi K. Jain, Zengdi “Cindy” Cui and Jeremy K. Domen. Environmental Impact of Mining and Mineral Processing: Management, Monitoring, and Auditing Strategies (2016) <https://doi.org/10.1016/C2014-0-05174-X>
8. Modak, Prasad. Environmental Management towards Sustainability (2018) <https://doi.org/10.1201/9781315156118>
9. D. Sarkar, R. Datta, A. Mukherjee, R. Hannigan. An Integrated Approach to Environmental Management (2015) <https://doi.org/10.1002/9781118744406>
10. Cengiz Kahraman, İrem Uçal Sari. Intelligence Systems in Environmental Management: Theory and Applications (2017) <https://doi.org/10.1007/978-3-319-42993-9>
11. Хаббард Дуглас У. Как измерить всё, что угодно. Оценка стоимости нематериального в бизнесе (пер. с англ.) – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес». 2009. 320 с.
12. Bradley C., Sharpe A. A Detailed Analysis of the Productivity Performance of Mining in Canada // Centre for the study of living standards. Ottawa, Ontario, 2009. P. 258.
13. Mawby Maurice R. W. J. Australasian mining and metallurgical operating practices. The Sir Maurice Mawby Memorial. Vol. 2. — Carlton, Vic.: Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2013.
14. Dubiński J. Sustainable Development of Mining Mineral Resources // Journal of Sustainable Mining. 2013. Vol. 12. Issue 1. P. 1–6.
15. Research activity of Mineral Institute of Sustainable Development of the Queensland University (2019) <https://smi.uq.edu.au/csr-what>
16. Abini N., Ataee-pour M., Rahmanpour M. Integration of Sustainable Development concepts in Open Pit mine Design (2015) <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.150>
17. Lebedev Yu. V., Kokarev K. V., Gorbunov A. V. and Oleynikova L. N. Subsurface management model: interdisciplinary approach in conditions of contemporary challenges, risks and uncertainties. E3S Web Conf. Volume 177, 2020. XVIII Scientific Forum “Ural Mining Decade” (UMD 2020). DOI <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017705016>
18. Трубецкой К. Н., Каплунов Д. Р., Чаплыгин Н. Н. Современные горные науки: предмет, содержание и новые задачи // Горный журнал. – 1994. - № 6. С. 3-7.
19. Рыльникова М. В. Гармоничное развитие горной промышленности, науки и высшего горного образования – гарантия устойчивого состояния горно-промышленных регионов России // Устойчивое развитие горных территорий. – 2020. - № 1(43). – С. 151-161.
20. Трубецкой К. Н., Каплунов Д. Р., Малышев Ю. Н., Пучков Л.А. и др. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли. – М.: Изд-во Акад. горных наук. – 1997. – 478 с.
21. Трубецкой К. Н. Решение проблем экологически сбалансированного освоения месторождений открытыми геотехнологиями // Горный журнал. – 2018. - № 1. – С. 17-24.
22. Чантурия В. А. Инновационные процессы комплексной глубокой переработки минерального сырья природного и техногенного происхождения // Горный журнал. – 2015. – № 7. – С. 29-37.
23. Каплунов Д. Р., Радченко Д.Н. Принципы проектирования и выбор технологий освоения недр, обеспечивающий устойчивое развитие подземных рудников // Горный журнал. – 2017. – № 11. – С. 52-59.

24. Голик В. И., Разоренов Ю. И., Дмитрак Ю. В., Габараев О. З. Тенденции развития минерально-сырьевой базы цветной металлургии России // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2019. – № 2. – С. 117-128.
25. Хралов В. А. Железная артерия мегапроекта // Промышленный транспорт Урала. – 2008 (ноябрь – декабрь). – С. 13-15.
26. Быховский Л. З., Левченко Е. Н., Онтоева Т. Д., Пикалова В. С., Рогозин А. А. Перспективы обеспечения потребностей высокотехнологичных производств России редкометалльным минеральным сырьём // Разведка и охрана недр. – 2016. – № 9. – С. 106-115.
27. Кашин В. И. Проблемы развития минерально-сырьевого комплекса // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2013. – № 3. – С. 10-15.
28. Солоу Роберт М. Экономическая теория ресурсов или ресурсы экономической теории. (Лекция в честь Т.Эли) // СПб: Экономическая школа (под ред. В.М. Гальперина). – 2000. – Т. 3.
29. Валлерстайн И. После либерализма. М.: Едиториал УРСС. – 2003. – 256 с.
30. Чумаков А. Н. Глобалистика как междисциплинарная область научного знания // Использование и охрана природных ресурсов России. 2016. № 4. С. 103-109.

Научное издание

ХII Международная научно-техническая конференция
«ИННОВАЦИОННЫЕ ГЕОТЕХНОЛОГИИ
ПРИ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ
И НЕРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ»

6–7 апреля 2023 г.

Сборник докладов

Ответственный за выпуск
доктор технических наук, профессор Н. Г. Валиев

Редактор изд-ва Л. В. Устьянцева
Компьютерная верстка Н. В. Георгиева

Подписано в печать
Печать на ризографе. Бумага писчая. Формат 60 × 84/8.
Усл. печ. л. 9,30. Уч.-изд. л. 8,52 Тираж 80. Заказ.

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет

Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ