

На правах рукописи

Холмский Алексей Валерьевич



**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
СХЕМ БЕЗВЗРЫВНОЙ ОТРАБОТКИ УДАРООПАСНЫХ
БОКСИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

*Специальность 25.00.22 – Геотехнология (подземная,
открытая и строительная)*

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2022

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Фомин Сергей Игоревич

Официальные оппоненты:

Шапошник Юрий Николаевич

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное учреждение науки институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория физико-технических геотехнологий, ведущий научный сотрудник;

Румянцев Александр Евгеньевич

кандидат технических наук, Общество с ограниченной ответственностью «Институт Гипронибель», лаборатории геотехники, главный специалист.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва.

Защита диссертации состоится **30 сентября 2022 г. в 10:30** на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.06 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, ауд. № 1163.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 29 июля 2022 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



ИВАНОВ
Владимир Викторович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

В Российской Федерации основным источником алюминия является бокситовая руда. По количеству разведанных запасов бокситов Россия занимает одно из лидирующих мест в мире. Одним из крупнейших предприятий по добыче бокситовой руды является АО «Североуралбокситруда» (АО «СУБР»). Предприятием ведется отработка месторождений Красная Шапочка, Ново-Кальинское, Кальинское, Черемуховское с общей производственной мощностью более 3 млн. тонн сырья в год. Для месторождений Североуральского бокситового бассейна (СУБР) характерны сложные горно-геологические условия залегания, среди которых отмечается разнокачественный состав бокситовой залежи, изменчивая гиспометрия и удароопасность массива горных пород. Больше половины от общей доли высококачественных бокситов России добывают именно на месторождениях Североуральского бокситового бассейна, запасы которого разведаны и подтверждены до глубины 2 км.

В период до 2030 года на АО «СУБР» планируется увеличение производственных мощностей по добыче бокситовой руды с переходом на более производительные технологические схемы отработки запасов. При этом в отработку вовлекут глубоко залегающие участки рудной залежи, где повышен риск возникновения горных ударов, а производительность традиционных технологических схем отработки ограничена геодинамическими и технико-экономическими факторами. По мере продвижения фронта очистных работ на глубину, превосходящую 1 км, снижается производительность, повышается себестоимость добычи 1 т бокситовой руды и возрастает удароопасность. Повышенная

удароопасность массива на большой глубине ведения работ является основным фактором, ограничивающим развитие очистных работ. На сегодняшний день отработку запасов месторождений СУБРа ведут с применением буровзрывного способа отбойки, при этом, по статистике, в результате ведения буровзрывных работ при отработке месторождений СУБРа произошло подавляющее число горных ударов, классифицирующихся как сильные. Из этого можно сделать вывод о том, что проведение очистных работ буровзрывным способом оказывает существенное влияние на удароопасный массив, соответственно, повышение производительности выемочных блоков при технологических схемах с буровзрывной отбойкой крайне затруднительно.

В связи с этим, обеспечение высокой производительности, рациональных эксплуатационных затрат и снижение влияния очистных работ на удароопасный массив при отработке месторождений СУБРа за счет применения безвзрывной технологии является актуальной задачей горной науки в области развития горной промышленности России.

Степень разработанности темы исследования.

Исследованиями в области повышения производительности очистных работ в сложных горно-геологических условиях, в сфере безвзрывных технологий отработки месторождений и обоснованием применения гидромолотов на очистных работах занимались такие ученые, как: А.П. Корнаушенко, Э.А. Карапетян, В.С. Марков, В.Н. Лабутин, А.В. Половинко, Г.А. Холодняков, Ю.В. Михайлов, Р.А. Ределин, А.Б. Макаров, Б.А. Лысиков, В.А. Кравченко и др. Работы авторов посвящены разработкам в области организации очистных работ, применения безвзрывных технологий, выемочного оборудования ударного действия на горных работах. Вместе с тем, технологических решений проблем, связанных с отработкой месторо-

ждений СУБРа на данный момент предложено не было. В работах перечисленных авторов не рассматриваются вопросы влияния очистных работ на удароопасный массив горных пород, проветривание глубоких горизонтов, выбор подходящего оборудования для сложных условий, повышения производительности очистной выемки в сложных условиях.

Объект исследования. Месторождения Североуральского бокситового бассейна.

Предмет исследования. Технологические схемы для безвзрывной отработки месторождений СУБРа, залегающих в сложных горно-геологических условиях.

Цель работы – определение и обоснование параметров технологических схем безвзрывной отработки месторождений СУБРа, обеспечивающих повышение производительности, снижение себестоимости добычи руды и снижение опасного влияния очистных работ на удароопасный массив.

Идея работы:

Повышение производительности, снижение себестоимости добычи руды и снижение опасного влияния очистных работ на удароопасный массив обеспечивается за счет безвзрывной отбойки руды гидромолотами.

Основные задачи исследования:

1. Анализ современного состояния горно-геологических и горнотехнических условий отработки месторождений СУБРа, обобщение передового опыта в области повышения эффективности отработки месторождений со сложными горно-геологическими условиями;
2. Анализ ударного воздействия на удароопасный массив горных пород;
3. Разработка методики определения производительности гидромолота для условий отработки месторождений СУБРа;

4. Обоснование области применения гидромолотов для условий отработки месторождений СУБРа;

5. Определение и обоснование параметров технологической схемы безвзрывной отработки, технико-экономическая оценка реализации предлагаемой технологической схемы для условий отработки месторождений СУБРа.

Научная новизна

1. Установлена экспоненциальная зависимость производительности гидромолотов от предела прочности пород на сжатие.

2. Установлена обратно-пропорциональная зависимость области применения гидромолотов по производительности от мощности рудного тела.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Разработана методика определения производительности гидромолота, учитывающая его эксплуатационные характеристики и физико-механические свойства отбиваемых пород, обеспечивающая обоснование наиболее рационального для эффективной отбойки руды типоразмера гидромолота.

2. Предложена принципиально новая для условий отработки месторождений СУБРа технологическая схема с применением гидромолотов на отбойке руды и самоходных вагонов на доставочных работах.

3. Результаты исследований использовались в научно-исследовательской деятельности ООО «Полигор» (НИР «Проведение исследований по геомеханической оценке условий применения камерно-столбовой системы разработки (КССР) при отработке удароопасных Североуральских бокситовых месторождений на современных глубинах и разработки рекомендаций по параметрам КССР для глубин 1400-2000 м. Этап 1 «Оценить соответствие применяемой на шахтах АО «СУБР» камерно-столбовой системы разработки горно-геологическим,

горнотехническим и геодинамическим условиям ее применения»»: Отчет о НИР / Д.В. Сидоров. ООО «Полигор». – СПб, 2020. – 76 с., что подтверждается актом о внедрении №01-07/22 от 01.07.2022.

Методология и методы исследования

Для решения поставленных в диссертации задач применён комплекс методов исследований, включающий анализ теории и практики подземной разработки рудных месторождений в сложных горно-геологических условиях залегания; анализ технико-экономических показателей отбойки бокситовой руды гидромолотом; моделирование на персональных компьютерах; методы математической статистики.

Основные защищаемые положения:

1. Отбойку запасов камер в условиях отработки месторождений СУБРа следует вести гидромолотами, применение которых обеспечивает снижение опасного влияния очистной выемки на удароопасный массив горных пород.

2. Определение производительности гидромолота следует проводить по разработанной методике, заключающейся в построении схемы отбойки руды в забое с точностью до точки удара и обеспечивающей определение наиболее рационального типоразмера гидромолота.

3. Отработку запасов выемочного блока в условиях месторождений СУБРа следует проводить по разработанной технологической схеме безвзрывной отработки, обеспечивающей повышение производительности и снижение себестоимости добычи руды.

Степень достоверности результатов исследования обеспечивается применением в исследованиях системного подхода к изучению технологий подземной разработки месторождений со сложными горно-геологическими условиями залегания, обобщением и анализом результатов исследований

других авторов по теме диссертации, использованием экономико-математического моделирования на персональных компьютерах, классических теорий и практики отработки месторождений подземным способом в современных условиях.

Апробация результатов. Основные идеи и научные результаты диссертационного исследования были представлены на следующих всероссийских и международных научных конференциях и конкурсах: Всероссийский этап конференции-конкурса студентов и аспирантов «Полезные ископаемые России и их освоение», 16.04.2021; Международный этап конференции-конкурса студентов и аспирантов «Полезные ископаемые России и их освоение», 08.06.2021.

Личный вклад автора заключается в определении задач и методов исследований в области подземной разработки месторождений со сложными горно-геологическими условиями залегания; проведении анализа современного состояния подземных горных работ на месторождениях СУБРа, получении аналитических зависимостей, представлении защищаемых положений, опубликовании основных результатов исследований.

Публикации. Результаты диссертации в достаточной степени освещены в 6 печатных работах, в том числе в 1 статье - в издании из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент.

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, 4 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 108

наименований, и списка иллюстративного материала. Диссертация изложена на 134 страницах машинописного текста, содержит 38 рисунков, 27 таблиц и 3 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведено обоснование актуальности темы диссертации, сформулированы цель, идея и основные задачи исследований, изложена научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе представлен анализ горно-геологических условий отработки месторождений СУБРа. Выполнен анализ безвзрывных способов отбойки крепких руд для повышения эффективности очистных работ. Проанализирован опыт применения гидромолотов на отбойке крепких руд, проходка тоннелей с помощью гидромолотов, применение гидромолотов на открытых горных работах.

Вторая глава посвящена анализу актуальных технологических схем отработки месторождений СУБРа. Определены основные горнотехнические условия отработки месторождений СУБРа. Определены основные ограничения для повышения производительности очистных работ при актуальных технологических схемах. Предложена и описана технология безвзрывной отработки с отбойкой бокситовой руды гидромолотами.

Третья глава посвящена разработке алгоритма определения производительности гидромолотов для горно-геологических условий месторождений СУБРа. Произведен анализ классов гидромолотов, их эксплуатационные характеристики, область применения с учетом физико-механических свойств отбиваемых пород. Изложен сравнительный анализ схем работы гидромолотов в забое, определены перспективы развития технологии отбойки крепких руд гидромолотами. Разработана методика

определения производительности гидромолота для условий отработки месторождений СУБРа с учетом физико-механических свойств бокситовой руды и эксплуатационных характеристик гидромолотов. Определена производительность гидромолота для условий отработки месторождений СУБРа, разработан стенд для ударных испытаний образцов.

Четвертая глава посвящена обоснованию параметров технологических схем безвзрывной отработки месторождений СУБРа при камерно-столбовой системе разработки. Обосновано снижение риска возникновения горных ударов в результате техногенных факторов. Установлен рациональный типоразмер гидромолотов для эффективной отбойки бокситовой руды. Установлена экспоненциальная зависимость производительности гидромолотов от прочности бокситов. Приведено сравнение организации очистных работ в блоке при технологических схемах с буровзрывной отбойкой и безвзрывной отбойкой для условий отработки месторождений СУБРа. Приведено сравнение технико-экономических показателей технологических схем с буровзрывной отбойкой и безвзрывной отбойкой руды в условиях отработки месторождений СУБРа. Изложена технико-экономическая оценка реализации предлагаемой технологической схемы безвзрывной отработки.

В заключении изложены основные выводы по результатам проведенных исследований.

Основные результаты исследований отражены в следующих защищаемых положениях:

1. Отбойку запасов камер в условиях отработки месторождений СУБРа следует вести гидромолотами, применение которых обеспечивает снижение опасного влияния очистной выемки на удароопасный массив горных пород.

Процесс очистной выемки запасов месторождений СУБРа осуществляют буровзрывным способом. Согласно статистике, наибольшее число горных ударов возникает в результате ведения буровзрывных работ. При этом, наибольшее количество горных ударов произошло при наличии в массиве прочных, упругих разновидностей бокситов, таких как красный немаркий и яшмовидный. Данные типы бокситов способны накапливать упругую энергию и быстро переходить в запредельное напряженно-деформированное состояние при воздействии взрывной волны. Из этого можно сделать вывод о том, что буровзрывная отбойка оказывает опасное влияние на удароопасный массив, провоцируя горные удары.

В целях обоснования снижения опасного влияния очистных работ на удароопасный массив за счет применения безвзрывного способа отбойки руды гидромолотами, проанализирована взаимосвязь параметров отбойки запасов камер и опорного давления на краевую часть массива (рисунок 1).

В ходе исследований определено, что при ведении очистных работ буровзрывным способом (рисунок 1а) работу осуществляют в зоне повышенных напряжений, что оказывает опасное влияние на удароопасный массив. При наличии в зоне повышенных напряжений красных немарких или яшмовидных бокситов, буровзрывные работы спровоцируют ускорение перехода данных типов бокситов в запредельное состояние и разрушение в виде горного удара. По сравнению с буровзрывным способом, безвзрывная отбойка гидромолотами ведется в зоне пониженных напряжений (рисунок 1б), где массив склонен к отслаиванию отдельных кусков, повышению трещиноватости, что способствует эффективной отбойке. При этом наличие в зоне пониженных напряжений красных немарких и яшмовидных бокситов не ведет к их быстрому переходу в запре-

дельное состояние даже при воздействии рабочего инструмента гидромолота.

Исходя из вышеизложенного, проведение отбойки запасов камер гидромолотами в условиях отработки месторождений СУБРа обеспечивает снижение влияния очистной выемки на удароопасный массив.

2. Определение производительности гидромолота следует проводить по разработанной методике, заключающейся в построении схемы отбойки руды в забое с точностью до точки удара и обеспечивающей определение наиболее рационального типоразмера гидромолота.

На сегодняшний день рынок горнотранспортного оборудования представлен широким модельным рядом гидромолотов для осуществления различных операций, включающих демонтажные работы, дорожные работы, строительство, работы с твердыми породами. При этом, эксплуатационные характеристики гидромолотов вне зависимости от компании-производителя представлены энергией удара и эксплуатационной массой. Наиболее рациональным типоразмером для отбойки бокситов являются гидромолоты среднего и тяжелого классов в виду необходимых и достаточных для разрушения пород энергии удара и эксплуатационной массы.

Выполненные исследования показали, что производительность гидромолотов определяют по результатам опытно-промышленных испытаний на породах с различными прочностными свойствами, осуществляя хронометражные замеры. Результаты замеров сводят в таблицы, где показана сменная производительность гидромолотов каждого типоразмера в зависимости от типа пород. В тоже время, определение производительности гидромолотов по сводным таблицам не учитывает такие горнотехнические параметры, как давление в гидросистеме, коэффициент динамичности удара и диаметр рабочего

инструмента, что не позволяет получить достоверных результатов для определения рационального типоразмера гидромолота при отбойке руды в условиях отработки глубокозалегающих удароопасных месторождений СУБРа.

В ходе исследований, для условий отработки месторождений СУБРа определена производительность гидромолотов среднего и тяжелого классов с учетом предела прочности пород на сжатие, коэффициента динамичности удара, давления в гидросистеме и диаметра рабочего инструмента. На основании корреляции между расчетными и табличными значениями определена область значений производительности 1, соответствующих рациональному типоразмеру гидромолотов для отбойки бокситовых руд (рисунок 2). Области значений 1 соответствуют типоразмеры гидромолотов, обладающие следующими эксплуатационными характеристиками:

1. эксплуатационная масса 1500-2400 кг;
2. энергия удара 4000-8000 Дж;
3. давление в гидросистеме 15-16 Мпа;
4. диаметр рабочего инструмента 120-140 мм.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что гидромолоты со схожими эксплуатационными характеристиками обеспечат максимальную производительность в условиях отработки глубокозалегающих удароопасных месторождений СУБРа.

Разработанная методика определения производительности гидромолотов помимо прочностных свойств пород учитывает динамичность удара, давление в гидросистеме и диаметр рабочего инструмента, что позволяет обеспечить большую достоверность результатов

3. Отработку запасов выемочного блока в условиях месторождений СУБРа следует проводить по разработанной технологической схеме безвзрывной

отработки, обеспечивающей повышение производительности и снижение себестоимости добычи руды.

Запасы месторождений СУБРa отрабатывают камерно-столбовой системой по технологической схеме с буровзрывной отбойкой руды (рисунок 3) со следующим порядком проведения подготовительно-нарезных работ:

1. осуществляют проходку откаточного орта, которым вскрывают запасы блока;
2. при пересечении ортом рудного тела по восстанию проходят рудный восстающий, сбивая его с вентиляционным ортом на вышележащем горизонте для обеспечения сквозного проветривания, а также проходят рудоспуски до сбойки с откаточным ортом;
3. для обеспечения доступа самоходного оборудования в камеры во вмещающих породах лежачего бока проходят наклонный автосъезд;
4. после завершения подготовительно-нарезных работ осуществляют отработку запасов камер с применением самоходных буровых установок на бурении шпуров и погрузочно-доставочными машинами на доставке отбитой горной массы;
5. для доставки горной массы до рудоспуска применяют скребковый конвейер, установленный в рудном восстающем.

Выполненные исследования показали, что переход на безвзрывную технологию добычи обеспечивает повышение производительности и безопасности очистных работ за счет меньшего сейсмического воздействия на массив горных пород, склонных к горным ударам. Вместе с тем, отбойка крепких руд гидромолотами обеспечивает более высокую скорость продвижения очистного забоя в сравнении с показателями буровзрыв-

ной отбойки. Данные выводы подтверждаются результатами исследований Ю.Б. Панкевича, А.В. Половинко, Б.А. Лысикова, А.Б. Макарова, Э.А. Карапетяна, Ю.В. Михайлова, В.А. Кравченко, А.Б. Жабина и др.

Сравнение технологических схем с буровзрывной отбойкой руды и с безвзрывной отбойкой руды гидромолотами по технико-экономическим показателям (таблица 1) позволяет сделать вывод о том, что эксплуатационные затраты на процессы очистных работ и себестоимость добычи 1 т руды при технологической схеме с отбойкой руды гидромолотами снижаются в 1,5-2 раза. В то же время, производительность по технологической схеме с отбойкой руды гидромолотами с учетом горно-геологических условий отработки месторождений СУБРа превышает показатели буровзрывной отбойки в 1,5-2 раза.

Исходя из вышеизложенного, повысить производительность и снизить себестоимость добычи запасов выемочных блоков возможно за счет применения технологической схемы безвзрывной отбойки руды гидромолотами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи обоснования принципиально новых для условий отработки месторождений Североуральского бокситового бассейна технологических схем, заключающейся в отбойке руды гидромолотами, применением высокопроизводительного оборудования на очистных и погрузочно-доставочных работах, обеспечивающих снижение опасного влияния очистных работ на удароопасный массив, повышение производительности выемочного блока и снижение себестоимости добычи руды в 1,5-2 раза.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Установлено снижение опасного влияния очистных работ на удароопасный массив при применении безвзрывного способа отбойки гидромолотами. Опасным является прямое физическое или сейсмическое воздействие на зону краевой части массива, где напряжения достигают максимума, а в массиве пород присутствуют наиболее удароопасные типы бокситовой руды. В свою очередь, снижение влияния при отбойке гидромолотами достигается за счет того, что физическое и сейсмическое влияние распространяется вглубь массива на расстояние, не превышающее 0,5-0,7 м.

2. Разработана методика определения производительности гидромолота, заключающаяся в построении схемы отбойки пород в груди забоя с точностью до точки удара. Разработанная методика отличается универсальностью с точки зрения закладываемых в расчет исходных данных и позволяет определять производительность гидромолотов большинства типоразмеров при широком спектре данных о физико-механических свойствах пород. Также, разработанная методика обеспечивает определение области рационального применения гидромолотов для заданных горно-геологических условий.

3. Расчетом и графическими построениями с использованием авторской методики установлена экспоненциальная зависимость производительности гидромолотов от предела прочности пород на сжатие и получено эмпирическое уравнение, имеющее высокую корреляцию с данными хронометражных замеров производительности гидромолотов при отбойке различных типов пород. Коэффициент корреляции составляет 0,89.

4. Для условий отработки месторождений СУБРа установлены рациональные параметры гидромолотов, рекомендуемых для применения на отбойке запасов выемочных блоков: эксплуатационная масса гидромолота - 1500-2400 кг, масса базовой машины - 17-42 т, энергия удара - 4000-8000 Дж, давление в гидросистеме - 15-16 МПа, диаметр рабочего инструмента - 120-140 мм, рабочая длина инструмента - 500-700 мм.

5. Для условий отработки месторождений СУБРа установлена область применения безвзрывной отбойки гидромолотами: угол падения рудного тела - $25 - 35^\circ$, мощность рудного тела - 4-8 м, устойчивость руд - любая, устойчивость вмещающих пород - устойчивые, трещиноватость руд - любая, крепость руд - 5-12, объемный вес руд - $2,8-3,2 \text{ т/м}^3$.

6. Предложенные технологические схемы отработки месторождений СУБРа, включающие отбойку запасов выемочных камер гидромолотами, установленными на проходческие машины с нагребными лапами и самоходными вагонами на доставке отбитой горной массы от забоя до пунктов перегрузки в транспортные средства, обеспечивают повышение коэффициента использования выемочного оборудования до 0,78 за счет реализации циклично-поточной технологии; повышение производительности выемочного блока в 1,5-2 раза до величины 312 т/смен; снижение себестоимости добычи 1 т руды в 1,5-2 раза до величины 336 руб./т.

Исследования по теме настоящей диссертации затрагивают ряд ключевых сфер горнодобывающей отрасли: подземную геотехнологию ведения очистных работ, организацию работ в выемочном блоке, безопасность труда рабочих, геомеханику. Проблема повышения эффективности отработки глубоко-козалегающих месторождений в сложных условиях касается не только месторождений Североуральского бокситового бас-

сейна. В этой связи, результаты исследований могут быть использованы при определении и обосновании параметров подземной геотехнологии отработки месторождений, залегающих в сложных горно-геологических условиях, имеющих склонность к динамическим проявлениям горного давления. Тема является перспективной с точки зрения развития безвзрывной технологии отработки месторождений подземным способом с использованием гидромолотов на проходке горных выработок и очистных работах.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикация в издании из Перечня ВАК:

1. Холмский, А.В. Снижение влияния очистных работ на удароопасный массив при отработке Североуральских бокситовых месторождений за счет применения безвзрывной технологии / А.В. Холмский, С.И. Фомин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. - 2022. - Т.20. - №2. - С. 36–43. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2022-20-2-36-43>.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus

2. Kholmskiy, A.V. Arrangements for increase the efficiency of mining operations on the deep ore mines / A.V. Kholmskiy, D.V. Sidorov // Scientific and Practical Studies of Raw Material Issues. - 2019. - P. 71-76

3. Kholmskiy, A.V. Substantiation of blast-free technology for mining rockburst-hazardous bauxite deposits using hydraulic breakers. / A.V. Kholmskiy, S.I. Fomin // Mining Inf. Anal. Bull. - 2022. - №7. - p. 40-54. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_7_0_40

Публикации в прочих изданиях:

4. **Холмский, А.В.** Мероприятия по повышению эффективности ведения горных работ на глубоких рудниках / А.В. Холмский, Д.В. Сидоров // Маркшейдерия и недропользование. - 2019. - № 4. - С. 29-31.

5. **Холмский, А.В.** К оценке скорости проходки подземных горных выработок с применением гидромолотов // Маркшейдерия и недропользование. - 2020. - № 2. - С. 24-31.

6. **Kholmanskiy, A.V.** Feasibility studies of optimal anvil diameter for mining operations with hydraulic breakers on “SUBR” mines / A.V. Kholmanskiy, D.V. Sidorov // Solid State Technology. – 2020. -63(6). – P. 11446-11451

Патент:

7. Патент РФ №2775854 «Стенд для ударных испытаний образцов». Авторы: Холмский А.В., Лодус Е.В., Никифоров А.В. Заявка №2021134018. Дата приоритета: 23.11.2021. Патентообладатель: Санкт-Петербургский горный университет.

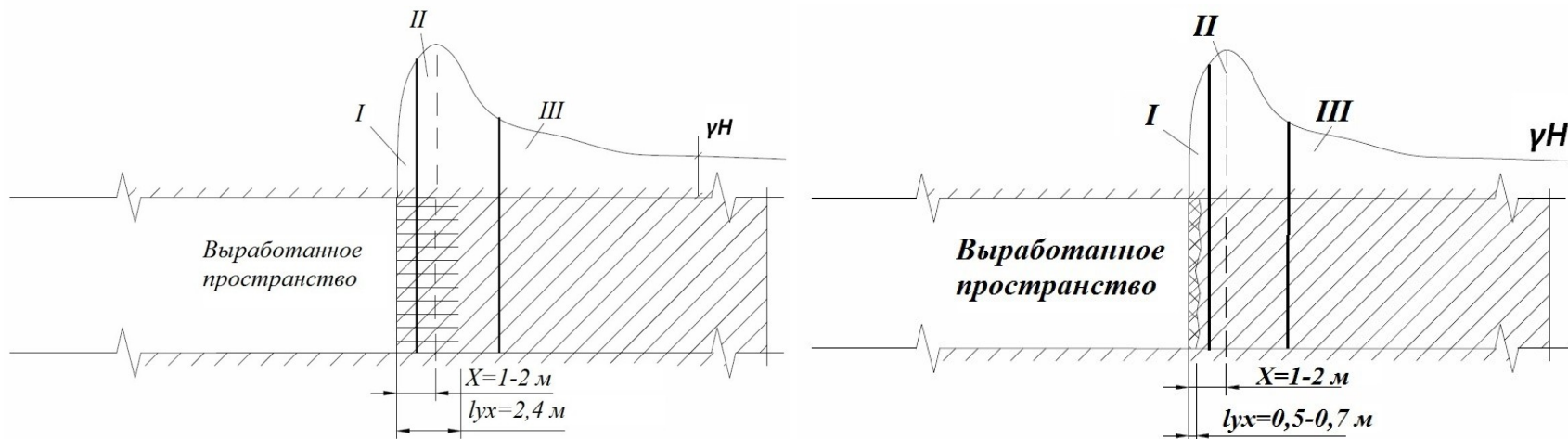


Рисунок 1 – Взаимосвязь опорного давления на краевую часть массива и параметров отбойки запасов камер: а) при буровзрывной отбойке, б) при безвзрывной отбойке гидромолотами. I – зона пониженных напряжений, II – зона повышенных напряжений, III – зона напряжений, близких к первоначальным, X – расстояние до максимальных напряжений, l_{yx} – длина уходки.

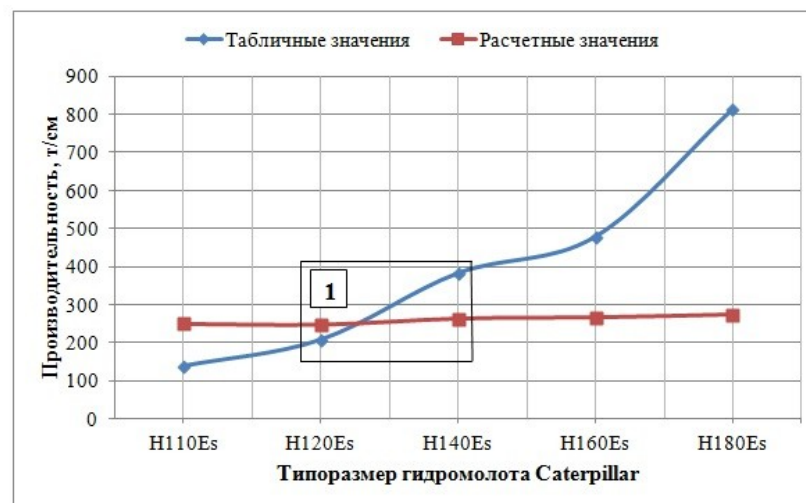


Рисунок 2 – Область значений производительности, соответствующей рациональному типоразмеру гидромолотов.

Таблица 1 – Сравнение технико-экономических показателей технологических схем с буровзрывной отбойкой руды и с отбойкой руды гидромолотами.

Наименование показателя	Технологическая схема с буровзрывной отбойкой руды	Технологическая схема с отбойкой руды гидромолотами
Производительность	250 т / сут.	350 т / сут.
Количество блоков для обеспечения $A_{г}=1,3$ млн. т/год	17 блоков	12 блоков
Заработная плата	52 руб./т	24 руб./т
Материалы	136 руб. / т	92 руб. / т
Энергия	322 руб. / т	220 руб. / т
Суммарная себестоимость добычи 1 т руды	510 руб. / т	336 руб. / т

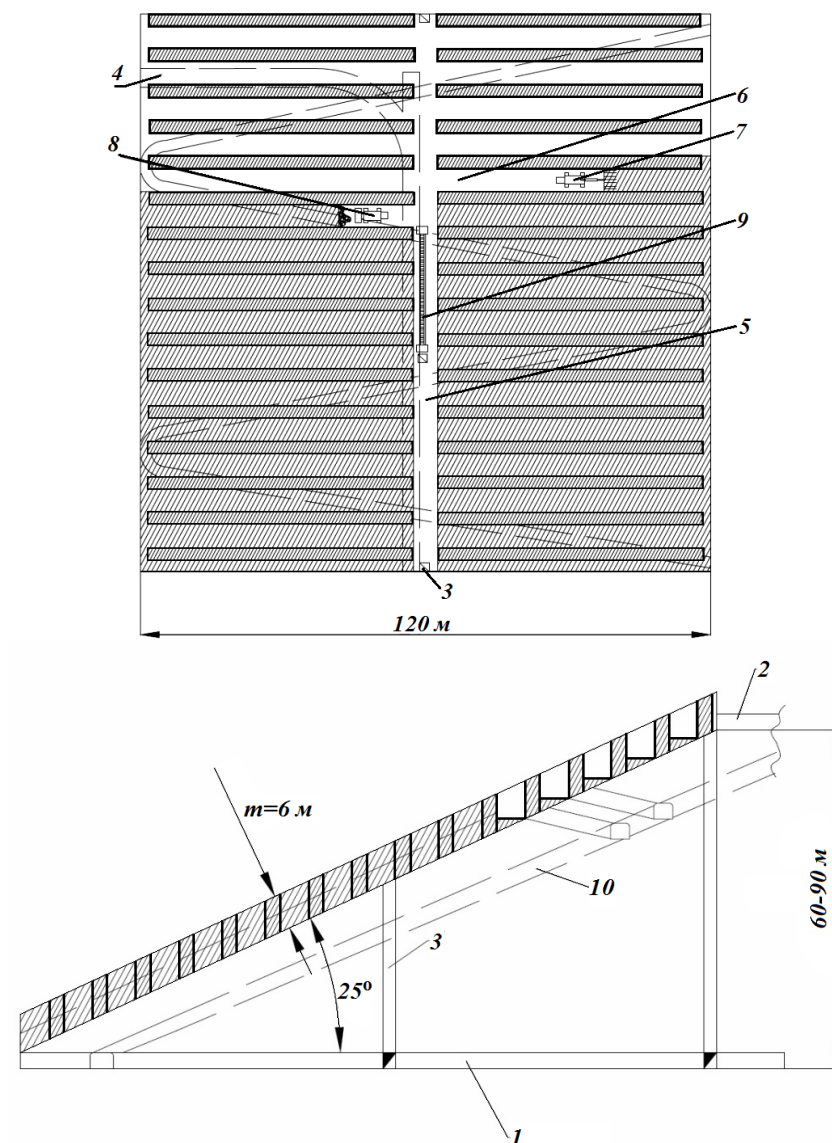


Рисунок 3 – Технологическая схема отработки запасов выемочного блока с буровзрывной отбойкой руды.

1 – откаточный орт, 2 – вентиляционный орт, 3 – рудоспуск, 4 – откаточный штрек, 5 – рудный восстающий, 6 – выемочная камера, 7 – буровая установка, 8 – погрузочно-доставочная машина, 9 – скребковый конвейер, 10 – наклонный автосъезд.