

УДК 622.272

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ НА ШАХТЕ «АНГИДРИТ»*



А. В. СУЧИЛИН¹,
главный инженер проектов



А. А. АНДРЕЕВ¹,
ведущий инженер,
andreev_aa@pers.spmi.ru



Д. А. ВАСИЛЬЕВ¹,
ведущий инженер



И. В. РАКОВ²,
руководитель проектного офиса

¹ Научный центр геомеханики и проблем горного производства, Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

² Заполярный филиал ПАО «ГМК «Норильский никель», Норильск, Россия

Введение

Ангидрит – один из компонентов закладочной смеси, используемой на рудниках Заполярного филиала ПАО «ГМК «Норильский никель», отрабатывающих Талнахское и Октябрьское месторождения никелевых руд. Отработка сульфидных медно-никелевых руд на рудниках Талнаха ведут с полной закладкой выработанного пространства, и, несмотря на то, что рассматривают также варианты применения систем разработки с обрушением, в ближайшей перспективе закладка твердеющими смесями будет являться основным способом управления горным давлением [1, 2]. Ангидрит является не только вяжущим элементом, но и пластификатором, обеспечивающим текучесть, благодаря чему закладочную смесь можно транспортировать на более дальние расстояния, при этом снижая риск забутовки [3–5].

Добыча ангидрита на месторождении Горозубовское осуществляют с 1975 г. Первоначально разработку вели на руднике «Ангидрит», а после структурных преобразований – на шахте «Ангидрит» рудника «Кайерканский». Производительность шахты определяется требуемыми объемами приготовления закладочной смеси на рудниках, ведущих закладочные работы, и в перспективе достигнет 2,9 млн т в год промышленного ангидрита. При заданной производительности

Выполнен сравнительный анализ применяемой в настоящее время технологии отбойки буровзрывным способом с альтернативным механическим способом с использованием комбайнов на шахте «Ангидрит».

Установлено, что существующая технология добычи полезного ископаемого является оптимальной по ряду технологических и экономических показателей.

Ключевые слова: ангидрит, подземный рудник, камерно-столбовая система разработки, буровзрывные работы, проходческий комбайн, производительность добычи, снижение затрат, себестоимость добычи

DOI: 10.17580/gzh.2023.05.17

срок службы шахты в рамках действующей лицензии составит около 25 лет [6].

Месторождение ангидрита расположено в предгорной части северной оконечности Норильского плато, поверхность которого расчленена поперечными и продольными долинами рек и ручьев на отдельные возвышенности, получившие название гор. К одной из них – горе Зуб-1 и приурочено месторождение. Залежь ангидрита имеет практически непрерывное распространение по простиранию и падению под углами 5–8°. Форма залежи пластовая. Мощность продуктивного пласта колеблется от 4 до 16 м, в среднем составляет 8,82 м. Глубина залегания изменяется от 30–40 м на севере разведанной площади до 330 м на юге.

В настоящее время добычу ангидрита осуществляют буровзрывным способом. В рамках проектных работ по увеличению объема добычи ангидрита были рассмотрены альтернативные технологии отработки, в том числе механизированный способ отбойки с применением комбайнов.

Ниже представлены результаты сравнения двух вариантов способа отбойки и выбора оптимального варианта, учитывающего все аспекты особенностей работы и расположения действующего предприятия.

Анализ вариантов способов отбойки ангидрита

К рассмотрению приняты две принципиально различающиеся технологии отработки запасов ангидрита: способ буровзрывной отбойки (существующий) и способ механизированной отбойки с применением комбайнов (альтернативный).

Каждая из перечисленных технологий обладает высокой технологичностью процессов проходки, высокими темпами отработки и гибкостью в своем использовании. Основные параметры системы разработки обоснованы геомеханическими расчетами с учетом горно-геологических и горнотехнических факторов

*В работе принимал участие сотрудник ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» В. Н. Лебедев.

1-я стадия – отработка верхнего слоя очистной камеры 2-я стадия – отработка нижнего слоя очистной камеры

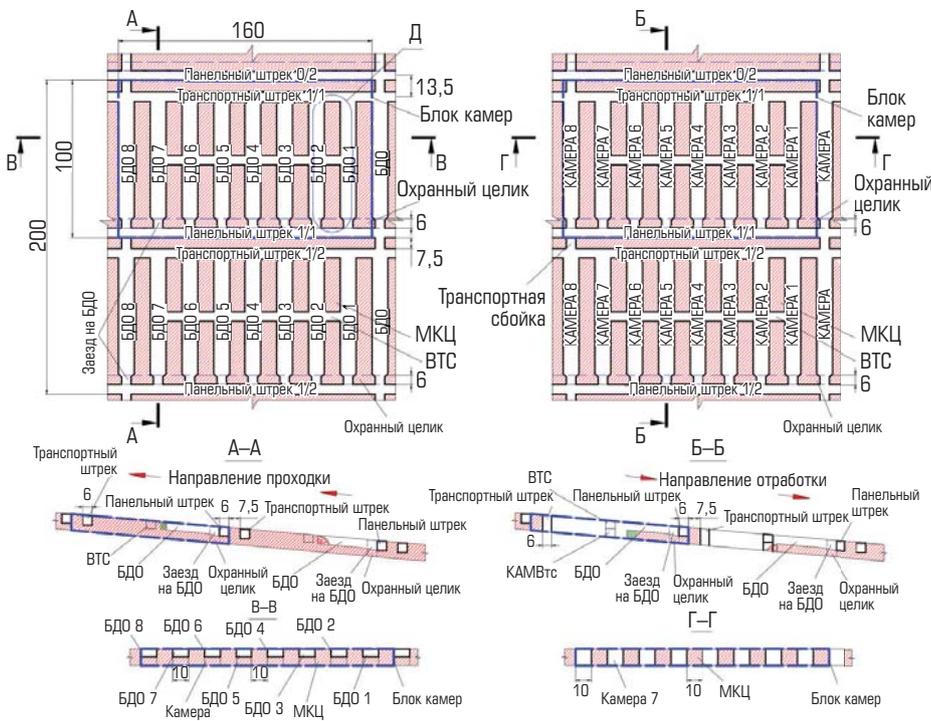


Рис. 1. Камерно-столбовая система разработки с ленточными целиками с применением буровзрывной технологии проходки:

БДО – буродоставочный орт; ВТС – вентиляционно-транспортная сбойка; КАМВТС – камера под вентиляционно-транспортной сбойкой; МКЦ – междукамерный целик

[7, 8], схема подготовки учитывает ранее выполненное разделение шахтного поля на выемочные блоки (панели) [9].

Буровзрывная технология ведения работ

Добычу ангидрита осуществляют камерно-столбовой системой разработки с ленточными целиками. По условиям отгрузки и проветривания рудника принята панельная подготовка залежи – рудное тело по падению разделено на панели шириной 200 м. Элементарные выемочные единицы – очистные камеры – ориентированы по падению пласта и в пределах панели разделены междукамерными целиками. В связи с тем, что мощность рудного тела достигает 15 м, основной объем подготовительно-нарезных работ выполняют у верхнего контакта промышленного пласта, после чего осуществляют отбойку запасов нижней части пласта нисходящими скважинами в очистных камерах.

Нарезные и очистные работы в камерах блока выполняют независимо друг от друга. Число забоев и камер в одновременной работе не регламентируется и определяется только условиями проветривания. Принципиальная схема системы разработки представлена на **рис. 1**.

На основании сравнения технико-экономических показателей выбран следующий комплект основного самоходного оборудования:

- самосвал Caterpillar AD45;
- погрузочно-доставочная машина (ПДМ) Caterpillar R2900 (на очистных работах);
- буровая машина стрелового бурения Sandvik DD421-60, используемая на проходческих работах;

- буровая машина веерного бурения Sandvik DL421-60, используемая на очистных работах.

Помимо этого, предусмотрено необходимое вспомогательное оборудование – машины для крепления, зарядания, заправки и др.

Все вышеперечисленное оборудование (или его аналоги) в настоящее время применяют в процессе ведения горных работ на шахте «Ангидрит» и обеспечивают требуемую производительность. Основным недостатком применяемого самоходного дизельного оборудования (СДО) является высокая необходимость поступления свежего воздуха.

Комбайновая технология ведения работ

Добыча ангидрита камерно-столбовой системой разработки с ленточными целиками возможна также с применением комбайнов избирательного действия. Для этого система разработки, предусматривающая проведение буровзрывных работ (БВР), требует незначительной корректировки с учетом применяемого оборудования.

В качестве основного оборудования предусматривается применение двух различных видов комбайнов: для отработки первого (верхнего) слоя выработок – комбайн избирательного действия с анкероустановщиком; для отработки остальных нижележащих слоев выработок – комбайн избирательного действия без анкероустановщика.

Работы в блоке с применением комбайнов начинают с проходки первого слоя подготовительных выработок (панельного и транспортного штреков) на полную их длину. Проходку осуществляют комбайном с анкероустановщиком. Далее

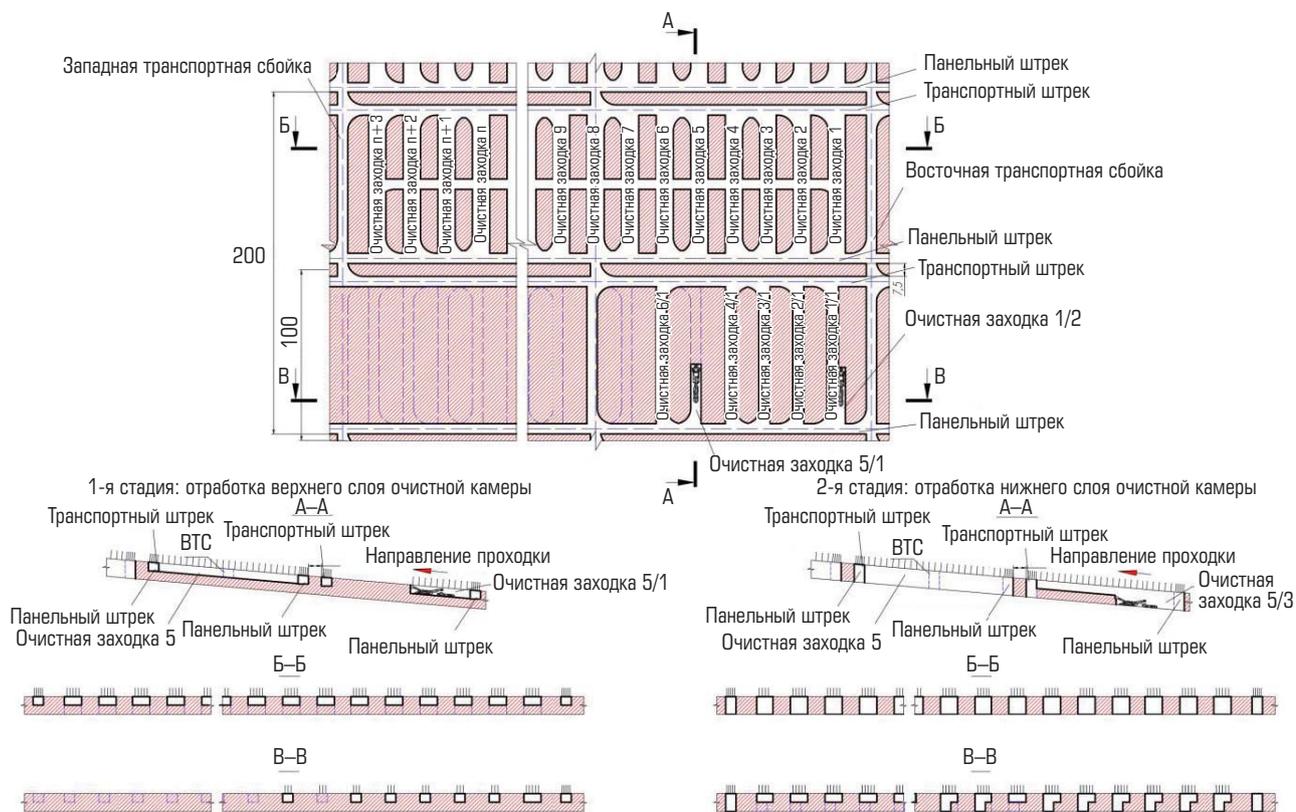


Рис. 2. Камерно-столбовая система с ленточными целиками с применением комбайнов избирательного действия

начинается нарезка камер (на верхнем уровне). Разбивку рудного тела на слои осуществляют в зависимости от зоны охвата рабочего органа комбайна. Система разработки с использованием комбайнов показана на рис. 2.

Эффективность работы комбайнов в значительной мере зависит от принятой последовательности отработки камер, для чего необходимо обеспечить минимальное число «холостых» ходов комбайна. На рис. 3 показана оптимальная траектория движения комбайна при нарезке камер. Нарезаемый блок состоит из 16 камер. Отработка очистных заходок циклична, цикл начинается с восточной транспортной сбойки и заканчивается на западной транспортной сбойке. Комбайн, закончив работы в предыдущем блоке камер, через восточную транспортную сбойку заезжает на панельный штрек (заезд задним ходом) и начинает проходку первой очистной заходки. Далее проходит на 4, 4-2, 2-6, 6-3, 3-8, 8-5, 5-10, 10-7, 7-12, 12-9, 9-14, 14-11, 11-15, 15-13, 13-16. Из 16-й заходки комбайн через 13-ю заходку проезжает на транспортный штрек и через западную транспортную сбойку переезжает в следующий блок, где процесс повторяется.

На основании сравнения технико-экономических показателей выбран следующий комплект основного проходческого и добычного оборудования:

- проходческий комбайн Sandvik MH621;
- очистной комбайн Komatsu Joy 12NM46;

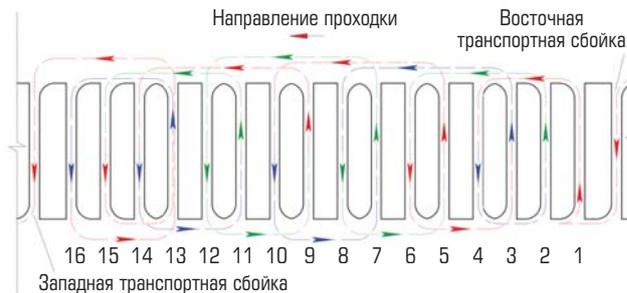


Рис. 3. Последовательность работ при отработке камер

- самоходный вагон Komatsu Joy 10SC32D.

Помимо этого, предусмотрено необходимое вспомогательное оборудование – машины для перевозки материалов, персонала, заправки и т. д.

Проходческие комбайны Sandvik MH621 и MT720 предназначены для проходки горизонтальных и наклонных выработок с максимально преодолеваемыми углами падения – восставания 18°, по породе прочностью до 140 МПа. Производительность добычи комбайнами в значительной степени зависит от свойств горных пород. Основная часть пласта имеет прочность 85 МПа для мергеля и 74–86 МПа для ангидрита. При этом встречаются участки с прочностью до 102 МПа. При средней

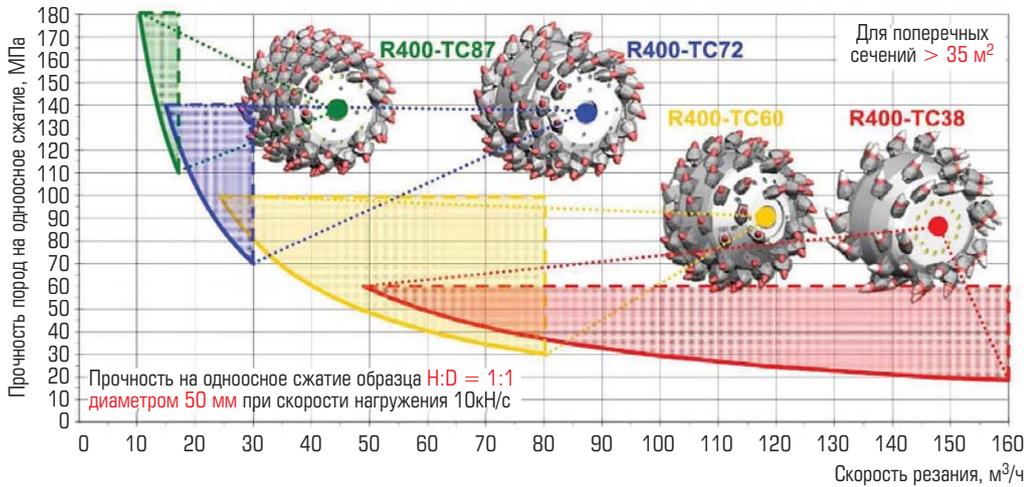


Рис. 4. Зависимость производительности резания комбайна Sandvik MT720 от прочности пород [10]

прочности пород 80 МПа, расчетная производительность одного комбайна Sandvik MH621 – 195 тыс. т/год, комбайна Komatsu Joy 12NM46 – 1,960 млн т/год (рис. 4).

Выбор оптимального варианта отбойки ангидрита

Выбор оптимального варианта отбойки ангидрита должен основываться на комплексном сравнении технических, технологических, организационных и экономических факторов [11–16]. Техничко-технологические факторы во многом связаны друг с другом и взаимозависимы, поэтому целесообразно рассматривать их совместно. В табл. 1 приведен анализ традиционно применяемого буровзрывного и альтернативного механизированного способов отбойки, а также приведены последствия, возникаемые в случае перехода на новый способ.

Первые позиции сравнения показывают преимущества механизированного способа отбойки перед традиционным буровзрывным, а последующие – недостатки. Следует отметить, что некоторые из факторов, которые демонстрируют негативный эффект от перехода на применение комбайнов, являются негативными исключительно в связи с особенностями географического расположения рудника: район Норильска является ограниченно доступным, особенно в периоды холодного времени года, когда доставка людей и грузов возможна либо авиационным транспортом, либо через Северный морской путь. Тем не менее эта особенность является объективной, и ее в обязательном порядке необходимо учитывать при выборе того или иного варианта технологии отработки.

Эффект от условно положительных факторов перехода на отработку комбайнами выражается в следующем:

- возможности повышения производительности добычи; повышение производительности возможно за счет увеличения чистого рабочего времени, привлечения большего числа техники, а также более эффективного использования оборудования;

- снижении эксплуатационных затрат при ведении горных работ; экономия возможна за счет применения электроэнергии для проветривания, материалов и видов работ для крепления;

- повышении безопасности ведения работ за счет снижения нарушенности обнажений и повышения устойчивости целиков [30]; при этом возможно рассмотрение вопроса об уменьшении поперечных размеров целиков при условии организации систематического или непрерывного мониторинга их деформационного состояния [31, 32].

Эффект от условно отрицательных факторов охватывает следующие аспекты деятельности предприятия:

- снижение качества товарной продукции; негативный эффект может сказаться на транспортной цепочке доставки руды к потребителям продукции рудника, а также на самих потребителях, вызвав необходимость изменения оборудования и технологии обработки получаемого ангидрита;
- риск снижения производительности, связанный с возможным несоответствием технических характеристик комбайнов горно-геологическим условиям; снижение производительности имеет непредсказуемую величину, вплоть до полной остановки работ;
- риск приостановки работ по двум причинам – технической (невозможность обеспечения работоспособного состояния комбайнов) и кадровой (нехватка требуемого числа профессионально подготовленных специалистов в условиях ограниченного рынка трудовых ресурсов Норильска).

Также было выполнено экономическое сравнение двух вариантов технологии отработки.

При расчете числа комбайнов учитывали применение двух типов комбайнов. Для обеспечения производительности добычи в соответствии с календарным графиком, потребуется от 5 до 7 комбайнов Sandvik MH621 и 2 комбайна Komatsu (JOY) 12NM46C. Все комбайны работают в паре с самоходным вагоном Komatsu (JOY) 10SC32D (табл. 2).

Таблица 1. Сравнительный анализ изменений при переходе на отработку комбайнами

Фактор	Существующее положение при БВР	Изменение при внедрении комбайнов	Эффект от внедрения
Цикличность технологического процесса [17, 18]	Требуется выделенное время на проведение взрывных работ и проветривание	Все операции выполняют без перерывов. Технологический процесс однородный и непрерывный	Сокращение нерабочего времени. Увеличение производительности труда
Выбросы вредных и ядовитых газов	Значительный объем выхлопных газов от СДО. Необходимость проветривания после взрывных работ	Значительное сокращение парка СДО и объемов выхлопных газов. Исключение выбросов ядовитых газов от взрывных работ	Сокращение потребности в объеме подачи свежего воздуха в горные выработки: – уменьшение производительности главных вентиляционных установок, в том числе снижение затрат на подогрев воздуха в холодный период; – повышение производительности добычи за счет возможности увеличения парка добычного оборудования; – повышение санитарно-гигиенических условий труда работников
Воздействие взрыва на массив горных пород [19, 20]	Создание наведенной трещиноватости в стенках и кровле камер	Сохранение естественной трещиноватости массива	Повышение устойчивости обнажений. Сокращение затрат на крепление выработок. Сохранение проектных параметров междукамерных целиков. Повышение безопасности работ
Технологичность процесса добычи [21]	В операциях проходческого цикла и очистных работ задействовано несколько различных типов специализированной техники, что требует высокой организации работ по их координации	Процессы проходки и очистных работ требуют одинаково малое число типов техники (проходческий/очистной комбайн и самоходный вагон), что упрощает организацию взаимодействия	Сокращение простоев техники по организационным причинам. Увеличение коэффициента использования оборудования
Хранение взрывчатых веществ и средств инициирования	Требуется оборудование и содержание склада взрывчатых материалов, а также обособленное проветривание	Отсутствие необходимости оборудования и содержания склада взрывчатых материалов. Единичные (разовые) случаи потребности могут покрываться за счет доставки с других предприятий, ведущих взрывные работы	Исключение необходимости поддержания склада взрывчатых материалов. Упрощение схемы проветривания рудника
Морфология залегания и изменчивость контура залежи [22, 23]	Точное повторение контура. Возможность изменения направления проходки в широком диапазоне, с резкими изменениями направления	Необходимость соблюдать технические ограничения по минимальному радиусу закругления в горизонтальной и вертикальной плоскости	Увеличение потерь или разубоживания на участках со сложной морфологией залегания
Требования к кондиционному размеру товарного куска ангидрита [24]	Регулируется параметрами БВР	Регулируется конструктивными особенностями рабочего органа комбайна. На выходе получается сильно измельченная горная масса	Переизмельченная горная масса склонна к огипсовыванию и налипанию в процессе транспортирования к потребителям
Неоднородность прочностных свойств пласта ангидрита [10, 25–27]	В худшем случае уменьшается коэффициент использования шпура или увеличивается доля негабаритных кусков. Решается корректировкой параметров БВР	В случае более прочных разновидностей – существенное снижение производительности добычи, вплоть до полной остановки	Снижение производительности добычи либо дополнительные затраты на содержание «резервных» комплексов буровых машин и ПДМ для проходки участков крепких пород с применением БВР
Возможность оперативной замены и ремонта [28]	Все виды оборудования имеют аналоги на других подземных рудниках Норильска – широкий ассортимент запасных частей, инструментов и принадлежностей, а также квалифицированный персонал для ремонта и обслуживания	Уникальное оборудование, применяемое на одном предприятии, расположенном в географически удаленном районе РФ	Риск простоев в случаях незапланированных ремонтов
Квалифицированный персонал [29]	Большое число квалифицированных рабочих требуемых профессий (эксплуатация и обслуживание) на территории Норильского района; наличие собственной учебной базы, преподавателей и программ обучения	Отсутствие специалистов требуемых профессий. В связи с малым числом планируемой к работе техники создание специализированной учебной базы может быть нецелесообразным	Необходимость поиска и релокации персонала. Риск отсутствия необходимого числа работников требуемых профессий в отдельные периоды

Таблица 2. Расчетное число комбайнов и самоходных вагонов по годам

Тип	Оборудование	2023 г.	2024 г.	2025 г.	2026 г.	2027 г.	2028 г.	2029–2031 гг.	2032–2034 гг.	2035–2037 гг.	2038–2040 гг.
Комбайн проходческий	Sandvik MH621	5	5	5	7	7	7	7	7	6	6
Самоходный вагон	JOY 10SC32D	5	5	5	7	7	7	7	7	4	4
Комбайн очистной	JOY 12HM46C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Самоходный вагон	JOY 10SC32D	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Данные комплексы сравнивали с комплектами оборудования, традиционно применяемого при буровзрывном способе отработки на шахте «Ангидрит»: буровыми машинами стрелового и веерного бурения; анкероустановщиками, зарядными машинами, погрузочно-доставочными машинами. В табл. 3 представлены результаты экономического сравнения двух вариантов технологии отработки.

Общие затраты на закупку основного оборудования по варианту отработки комбайнами выше варианта отработки с применением БВР на 8204334000 руб. Общие затраты на закупку по всему комплексу оборудования (основного и вспомогательного) по варианту отработки комбайнами выше варианта отработки БВР на 7151154000 руб.

Результаты расчетов показывают, что использование комбайнов при отработке месторождения приводит к повышению себестоимости добычи 1 т ангидрита на 148,37 руб. (+12,8 %).

На основании выполненного сравнения по технико-технологическим, организационным и экономическим параметрам [33–35] установлено, что переход на новую технологию отработки ангидрита нецелесообразен по следующим причинам:

- риск непредсказуемого снижения объемов добычи или приостановки работ может негативно сказаться на выполнении производственной программы основными горнодобывающими предприятиями Норильска, ведущими разработку медно-никелевых руд, что является недопустимым;
- увеличение себестоимости добычи ангидрита не отвечает интересам компании в плане повышения эффективности и снижения издержек.

Заключение

По результатам сравнения по критерию экономической эффективности циклично-поточная технология проигрывает традиционной с применением БВР. Вместе с тем, несмотря на полученный результат сравнения двух вариантов, применение комбайнов остается перспективным направлением развития технологии добычи на шахте «Ангидрит». Факторы, показывающие положительный эффект от внедрения комбайнов, оказывают существенное влияние на безопасность и технологичность процесса, что является весомым аргументом в пользу этого варианта. В то же время факторы, показывающие негативный эффект, в первую очередь влияющие на

Таблица 3. Результаты сравнительных расчетов технико-экономических показателей двух вариантов отработки, руб.

Показатель	Вариант	
	Применение БВР	Применение комбайнов
Стоимость общей закупки:		
основного оборудования	8496570000	16700904000
вспомогательного самоходного оборудования	6122091600	5068911600
Итого	14618661600	21769815600
Капитальные затраты	21395592,27	24993852,15
Капитальные затраты с учетом реновации	35633029,27	43578813,15
Эксплуатационные затраты за весь период	51614920,84	66832084,72
Себестоимость 1 т ангидрита (минимальная за весь период)	1151,22	1299,59

производительность, хоть и являются решающими при выборе варианта, при этом имеют потенциал роста, и в случае доработки оборудования имеют все шансы показать эффект положительный.

Исследования, включая экспериментальное внедрение циклично-поточного оборудования на шахте «Ангидрит», необходимо продолжать. Вовлечение в процесс разработки технологии производителей оборудования позволит устранить негативные факторы и повысить производительность технологического процесса. С учетом имеющегося положительного влияния на безопасность и экологичность процесса добычи в случае достижения экономической эффективности технология с применением комбайнов непременно придет на смену традиционной технологии с применением БВР.

Библиографический список

См. англ. блок. 

«GORNYI ZHURNAL», 2023, № 5, pp. 114–120
DOI: 10.17580/gzh.2023.05.17

Selection of mining technology at Anhydrite Mine

Information about authors

A. V. Suchilin¹, Chief Project Manager

A. A. Andreev¹, Leading Engineer, andreev_aa@pers.spmi.ru

D. A. Vasiliev¹, Leading Engineer

I. V. Rakov², Head of Project Office

¹Research Center for Geomechanics and Mining Practice Problems, Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia

²NorNickel's Polar Division, Norilsk, Russia

Abstract

The article discusses selection of an optimal method of anhydrite breaking in an underground mine. The mine is located in the Norilsk industrial area, and the mining products are used as a feedstock in manufacture of backfill mixtures which are involved in mining sulphide copper–nickel ore in the Talnakh ore cluster.

The results of selecting an optimal technology for breaking anhydrite with regard to operating features and location of the test mine are described. The current mining technology is drilling and blasting. Within the framework of the project studies into the feasibility of increasing production of anhydrite, alternative technologies were examined, including mechanical cutting by roadheaders. The comparison of the drilling and blasting and mechanical cutting by roadheaders used the production data and economic performance. In terms of the production data, the required modification of activities and the anticipated economic effect are analyzed.

The accomplished comparison by the technological, organizational and economic factors shows that transition to another technology of anhydrite production is inexpedient for a few reasons, namely: the risk of an unpredictable decrease in production output or a layoff can adversely affect performance of the main copper–nickel mines in the Norilsk area, which is unallowable; the increase in the production cost contradicts the mine's interests in terms of efficiency enhancement and cost saving. At the same time, the choice of the described alternative has a high potential of production increase and cost saving upon condition of adapting the proposed equipment to the specific geological conditions of the mine.

The article may be interesting for specialists in design and mining.

The authors appreciate participation of V. N. Lebedev from NorNickel's Polar Division in this study.

Keywords: anhydrite, underground mine, room-and-pillar mining, drilling and blasting, roadheader, production output, cost reduction, production cost.

References

- Marysyuk V. P., Darbinyan T. P., Andreev A. A., Noskov V. A. Efficiency of modification of the copper–nickel sulfide ore mining system in the Oktyabrskiy mine. *Gornyi Zhurnal*. 2019. No. 11. pp. 19–23. DOI: 10.17580/gzh.2019.11.02
- Kuranov A. Mining sector advance : Digital technologies and mineral mining. 2021. Available at: <https://habr.com/ru/companies/ds/articles/564250/> (accessed: 15.04.2022).
- Darbinyan T. P., Lozitskiy V. A., Gogolev D. V., Balandin V. V. Backfill improvement in underground mines of NorNickel's Polar Division: Current situation and prospects. *Gornyi Zhurnal*. 2022. No. 1. pp. 80–84. DOI: 10.17580/gzh.2022.01.14
- Bondarenko S. A., Trofimov B. Ya. Physicochemical processes of manmade anhydrate binder curing. *Current Challenges in Construction : The 65th All-Russian Conference Proceedings*. Novosibirsk, 2008.
- Golik V. I., Dmitrak Yu. V., Komashchenko V. I., Kachurin N. M. Management of hardening mixtures properties when stowing mining sites of ore deposits. *Journal of Mining Institute*. 2020. Vol. 243. pp. 285–292.
- Akhmadeev Yu. G., Lebed O. B., Van-Chan V. Yu., Ilin V. B. History of development and increase of mineral assets in the Norilsk Industrial Area. *Gornyi Zhurnal*. 2020. No. 6. pp. 5–9.
- Kovalskiy E. R., Gromtsev K. V., Petrov D. N. Modeling deformation of rib pillars during backfill. *GIAB*. 2020. No. 9. pp. 87–101.
- Sidorenko A. A., Meshkov S. A. Justification of technologies parameters for intensive mining of prone to spontaneous combustion thick coal seams. *GIAB*. 2022. No. 6-1. pp. 83–99.
- Fomin S. I., Lelen A. N. Substantiation of the operational block parameters during the development of cement raw material deposits by mining combines of layer-wise milling. *Ratsionalnoe osvoenie nedr*. 2022. No. 3(65). pp. 20–25.
- Small mining sites—Innovation in exploitation and processing. *Dubrovnik International ESEE Mining School—DIM ESEE 2020*. Croatia, 2020.
- Bondarenko A. A., Sharipov R. Kh. Experience and comparative analysis of operating efficiency of diesel and electric loading and delivery machines. *Izvestiya Tl'skogo gosudarstvennogo*

- universiteta. *Nauki o Zemle*. 2021. No. 4. pp. 246–257.
- Grafe B., Shepel T., Drebenstedt C. Innovations in mechanical rock excavation at TU Bergakademie Freiberg. *Scientific and Practical Studies of Raw Material Issues : Proceedings of the Russian–German Raw Materials Dialogue : A Collection of Young Scientists Papers and Discussion*. Leiden : CRC Press/Balkema, 2019. pp. 34–45.
- Burt C. N., Caccetta L. *Equipment Selection for Mining: With Case Studies*. Cham : Springer International Publishing, 2018. 155 p.
- Komlenovich D. Multi-criterion approach to selection of mining equipment. *Gornoe delo*. 2017. No. 2(12). pp. 10–19.
- Shabarov A., Kuranov A., Popov A., Tsirel S. Geodynamic risks of mining in highly stressed rock mass. *Problems in Geomechanics of Highly Compressed Rock and Rock Massifs : Proceedings of the 1st International Scientific Conference. E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 129. 01011. DOI: 10.1051/e3sconf/201912901011
- Yakubovskiy M. M., Mikhaylova E. A., Bazhukov A. A. Reasons of efficiency of surface miners in selective coal cutting under low temperatures. *GIAB*. 2021. No. 10. pp. 42–57.
- Shishlyannikov D. I., Trifanov M. G., Trifanov G. D. “Ural-20R” combines loading drives evaluation in two-stage development of the face. *Journal of Mining Institute*. 2020. Vol. 242. pp. 234–241.
- Kholmiskiy A. V., Fomin S. I. The prospects of blastless ore breaking with hydraulic hammers when mining North Uralian Bauxite mine deposits by underground method. *Izvestiya vuzov. Gornyi Zhurnal*. 2022. No. 4. pp. 26–37.
- Dimitraki L. S., Christaras B. G., Arampelos N. D. Investigation of blasting impact on limestone of varying quality using FEA. *Geomechanics and Engineering*. 2021. Vol. 25, No. 2. pp. 111–121.
- Sinegubov V. Yu., Popov M. G., Vilner M. A., Sotnikov R. O. Influence of stoping on formation of damaged rock zones at boundaries of large cross-section excavations in apatite–nepheline mining. *Gornyi Zhurnal*. 2021. No. 8. pp. 26–30. DOI: 10.17580/gzh.2021.08.04
- Uvarov I. I., Garaev I. F., Lozitskiy V. A., Andreev V. N. Self-propelled electric traction mining equipment. *Gornyi Zhurnal*. 2022. No. 8. pp. 11–16.
- Kurchin G. S., Ananenko K. E., Prokopenko I. V., Kirsanov A. K. Methodical bases for normalization of losses and impoverishment during production with the account of their impact on technological data during treatment. *Marksheyderiya i nedropolzovanie*. 2017. No. 6(92). pp. 55–59.
- Fomin S. I., Rodionov A. O. Determination of mineral losses taking into account the angle of inclination of an ore body and the type of mining equipment used. *Marksheyderiya i nedropolzovanie*. 2020. No. 3(107). pp. 48–50.
- Nguyen V. S., Nguyen K. L., Lykov Yu. V. Increasing the yield of coarse coal fractions in shearing. *Gornyi Zhurnal*. 2021. No. 2. pp. 97–100. DOI: 10.17580/gzh.2021.02.13
- Rostamsowlat I., Richard T., Evans B. An experimental study of the effect of back rake angle in rock cutting. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2018. Vol. 107. pp. 224–232.
- Verbilo P. E., Vilner M. A. Study of the jointed rock mass uniaxial compression strength anisotropy and scale effect. *GIAB*. 2022. No. 6-2. pp. 47–59.
- Zuev B. Yu., Zubov V. P., Smychnik A. D. Determination of static and dynamic stresses in physical models of layered and block rock masses. *Gornyi Zhurnal*. 2019. No. 7. pp. 61–66. DOI: 10.17580/gzh.2019.07.02
- Zhabin A. B., Polyakov A. V., Averin E. A., Linnik Yu. N., Linnik V. Yu. Estimation of abrasiveness impact on the parameters of rock-cutting equipment. *Journal of Mining Institute*. 2019. Vol. 240. pp. 621–627.
- Gendler S. G., Tumanov M. V., Levin L. Yu. Principles for selecting, training and maintaining skills for safe work of personnel for mining industry enterprises. *Nauchnyi vestnik Natsionalnogo gornogo universiteta*. 2021. No. 2. pp. 156–162.
- Gendler S. G., Rudakov M. L., Falova E. S. Analysis of the risk structure of injuries and occupational diseases in the mining industry of the Far North of the Russian Federation. *Nauchnyi vestnik Natsionalnogo gornogo universiteta*. 2020. No. 3. pp. 81–85.
- Morozov K. V. Creation of rock mass monitoring deformations systems on rock burst hazardous mineral deposits. *Rock Mechanics for Natural Resources and Infrastructure Development—Full Papers : Proceedings of the 14th International Congress on Rock Mechanics and Rock Engineering*. Leiden : CRC Press/Balkema, 2020. Vol. 6. pp. 1318–1323.
- Morozov K. V., Demekhin D. N., Bakhtin E. V. Multicomponent strain gauges for assessing the stress-strain state of a rock mass. *GIAB*. 2022. No. 6-2. pp. 80–97.
- Whittle G., Stange W., Hanson N. *Optimising Project Value and Robustness. Project Evaluation : Conference Proceedings*. Melbourne, 2007.
- Borisovich V. T., Kurbanov N. Kh., Zaernyuk V. M., Seifullaev B. M. Practical risk management at gold mining companies. *Gornyi Zhurnal*. 2018. No. 11. pp. 70–75. DOI: 10.17580/gzh.2018.11.13
- Tsirel S. V., Noskov V. A., Korchak P. A., Zhukova S. A. Evaluation of economic efficiency of rock mass geodynamics prediction and control. *Gornyi Zhurnal*. 2017. No. 3. pp. 26–31. DOI: 10.17580/gzh.2017.03.05