



УДК 622.363.2

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВЕДЕНИЯ ЗАКЛАДОЧНЫХ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ СОЛЕЙ

Щербань П.С.¹, Разумович С.В.², Голованов В.В.³

¹ Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта, Инженерно-технический институт, Калининград, Российская Федерация

² Санкт-Петербургский Горный университет, Кафедра разработки месторождений полезных ископаемых, Санкт-Петербург, Российская Федерация

³ Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта, Институт прикладной математики и информационных технологий, Калининград, Российская Федерация

Аннотация.

Специфические гидрогеологические условия Калининградской области налагают определенные требования к разработке месторождений полиминеральных солей с целью обеспечения технической и экологической безопасности процесса. Учитывая серьезные перспективы в освоении ряда полиминеральных месторождений региона в срок до 2023 года, возникает вопрос о разработке технологии обратной закладки выработанных пространств рудников. В статье рассматриваются современные технические, технологические и организационно-управленческие подходы по снижению рисков при отработке месторождений полиминеральных солей. Анализируются вопросы поддержания целостности водозащитной толщи, минимизации риска возникновения трещин путем внедрения в производственный процесс технологии обратной закладки. Производится оценка оптимальности применения технологии обратной закладки в условиях Калининградской области, исследуются вопросы размещения оборудования, управления технологическим процессом, рассматриваются проблемы качества производства, транспортировки и закладки смесей.

Информация о статье

Принята 06 ноября 2018 г.

Ключевые слова: месторождения полиминеральных солей, технология обратной закладки, управление технологическим процессом, оптимизация транспортных схем.

DEVELOPMENT OF BACKFILLING OPERATIONS TECHNOLOGY DURING THE MINING OF POLYMINERAL SALT DEPOSITS

Pavel Shcherban¹, Sergey Razumovich², Vladislav Golovanov³

¹ Immanuel Kant Baltic Federal University, Engineering and Technical Institute, Kaliningrad, Russian Federation

² St. Petersburg Mining University, Department of mineral deposits development, St. Petersburg, Russian Federation

³ Immanuel Kant Baltic Federal University, Institute of applied mathematics and information technologies, Kaliningrad, Russian Federation

Abstract.

Specific hydrogeological conditions of the Kaliningrad region impose certain requirements for the development of deposits of polymineral salts in order to ensure technical and environmental safety of the process. Taking into account serious prospects in the development of a number of polymineral deposits in the region until 2023, it is crucial to find out development technologies for reverse backfilling of ore bodies in the developed space. The article overviews modern technical, technological, organizational and management approaches to reduce risks in the development of deposits of polymineral salts. The issues of maintaining the integrity of the waterproof layer and minimizing risks of cracks during backfilling process are analyzed. Evaluation of optimal application of backfilling technology in conditions of the Kaliningrad region is presented, issues of allocation of equipment, management of technological process are observed, problems of quality of production, transportation and laying of the mix are examined.

Article info

Received November 06, 2018

Keywords: deposits of polymineral salts, technology of backfill, process control, optimization of transport schemes.



Введение

Развитие Калининградской области на протяжении последних 25 лет определялось в основном легкой промышленностью, сферой туризма и услуг. Крупные промышленные предприятия в регионе были либо ликвидированы, либо значительно сократили объемы производства (исключениями являются проекты, реализованные ООО «Лукойл-Калининградморнефть» и ЗАО «Содружество-Соя»). В связи с этим насущной проблемой региона является создание крупного, конкурентоспособного кластера предприятий, которые смогут обеспечить динамичное развитие и экономический рост. Одним из наиболее перспективных направлений развития промышленности Калининградской области является освоение ресурсов полиминеральных солей. Запасы полиминеральных руд в регионе представлены каинитом, кизеритом, карналлитом, полигалитом и галитом. Представленные полиминеральные соли могут быть использованы для производства калийных и сульфатных удобрений, металлического магния, технической и пищевой соли. В 2011 – 2018 г.г. в Калининградской области проводилась геологическая разведка на полиминеральные соли. Было выявлено четыре месторождения – «Красноборское», «Поддубное», «Нивенское-1» и «Нивенское-2». Общие прогнозные запасы региона оцениваются в 4,8 млрд. тонн. Наиболее изученным является Нивенское проявление калийно-магниевых солей с прогнозными запасами 2,9 млрд. тонн. В результате отработка месторождений позволит при объемах производства основных продуктов в 2-3 млн.т. ежегодно осуществлять добычу и переработку основного сырья в течении более 100 лет [1].

Анализ структуры полиминеральных месторождений региона

Месторождения полиминеральных солей образовались на территории Калининградской области в конце пермского периода 252 млн. лет назад. В тот период территория западной части региона представляла собой цепочку лагун, слабо сообщавшихся с крупным внутренним морем. Трансгрессия и регрессия соленой морской воды в лагуны способствовали быстрому осадконакоплению. В результате сформировались мощные соляные толщи, в ряде мест достигающие 150 м. Геологоразведочными работами выявлено, что на различных глубинах внутри соляной толщи фиксируются прослои полиминеральных и полигалитовых руд с высоким содержанием калия и сульфатов. Глубина залегания продуктивных горизонтов колеблется по региону и составляет от –900 м [2] в северо-восточном борте Красноборского месторождения, до –1150-1200 м на месторождении Нивенское-1. Отработку ресурсов данных соляных месторождений возможно осуществлять как методом выщелачивания, так и посредством шахт. Учитывая высокие потери полезных компонентов и низкое качество итоговой продукции при выщелачивании залежей подобного типа, наиболее перспективным способом отработки представляется шахтный. Необходимо отметить, что горно-геологические условия накладывают определенные ограничения по методам отработки месторождений. Предварительное моделирование показывает, что на подобных глубинах соленые породы необходимо обрабатывать камерно-столбовым методом [3].

Вместе с тем необходимо учитывать, что на глубинах от 0 до 750 м существует более 10 водоносных горизонтов, некоторые из которых – напорные. На глубине 750-1000 м присутствует региональный водоупор, представленный ангидритами, формирующими водозащитную толщу. Необходимо отметить, что в ходе отработки месторождений даже камерным способом, в соляной толще могут возникать напряжения с последующим образованием трещин. На глубинах свыше 1000 метров каменная соль начинает проявлять повышенную «текучесть». Несмотря на то, что по своему типу соли Калининградской области относятся больше к «Хартзальцам», результаты геодинамического моделирования показывают скорости смещения кровли одиночной выработки за 1 год – 97.23 мм; за 5 лет – 122 мм; за 10 лет – 155 мм; за 20 лет – 253 мм. Подобная конвергенция приводит к сжатию камер, проседанию массива, а возможные трещины имеют свойства прогрессировать в направлении водозащитной толщи и представлять угрозу для ее целостности.

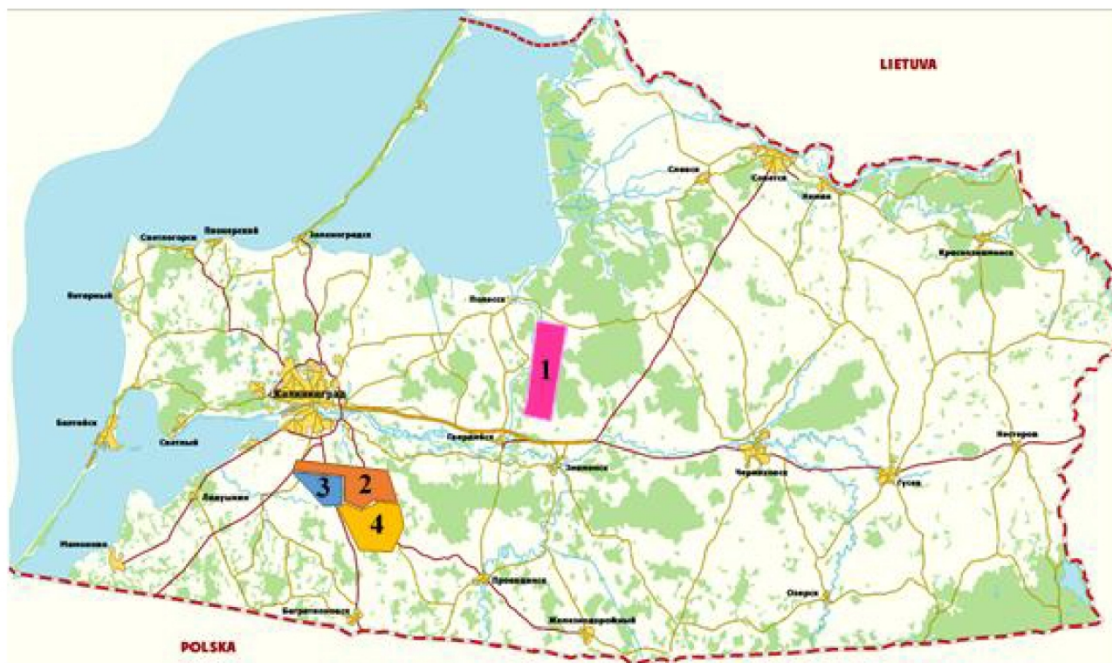


Рис.1. Расположение полиминеральных месторождений в Калининградской области
1 - Красноборское; 2- Поддубное; 3- Нивенское-1; Нивенское-2.

В условиях, когда над водозащитной толщей лежат напорные водоносные горизонты, это существенно увеличивает риски (см. рисунок 2.) [2]. В связи с этим важным технологическим элементом в освоении ресурсов месторождений полиминеральных солей в регионе является обратная закладка.

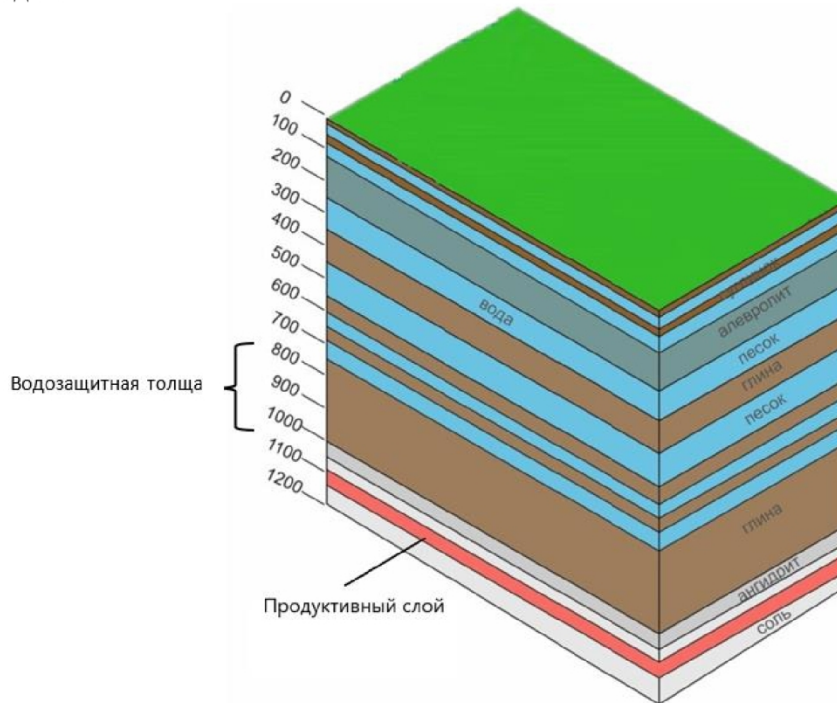


Рис.2. Схематический разрез и расположение водоносных горизонтов и водозащитной лоци относительно месторождения полиминеральных солей

Использование данного метода позволяет одновременно:



1. Увеличивать прочностные характеристики отработанного пространства, снижая показатели по конвергенции пород, а также скорости и величине проседания кровли.
2. Сокращать вероятность развития деформаций, сдвигов и трещин, представляющих опасность для водозащитной толщ – обеспечивая техническую безопасность [4].
3. Осуществлять безотходное производство продукции, размещая побочные продукты в качестве элементов закладочной смеси в отработанных камерах [5].
4. Сокращать (или полностью предотвращать) складирование побочных продуктов на поверхности, уменьшая экологическую нагрузку.

Разработка технологии обратной закладки и приготовления закладочных смесей при освоении месторождений калийно-магниевых солей напрямую связана с конечными выпускаемыми продуктами. Химический состав руд соляных месторождений Калининградской области свидетельствует о высоком содержании калия и сульфатов. Подобные химические характеристики, а также высокая стоимость и значительные потребности рынка в сульфате калия определяют приоритетность получения данного продукта.

Таблица 1. Усредненный минералогический и химический состав продуктивных горизонтов месторождения полиминеральных солей «Нивенское»

Минералогический состав	%	Химический состав	%
Галит	29.9	KCl	18.2 (12.0 - 20)
Каинит	23.3	NaCl	29.9
Карналлит	41.7	MgSO ₄	15.5 (12.0 - 18.2)
Кизерит	4.8	MgCl ₂	14.3
Ангидрит	0.3	CaSO ₄	0.3

Побочными продуктами в ходе подобного производства могут выступать хлорид натрия, хлорид магния и металлический магний. Получение хлорида калия (наиболее распространенного калийного удобрения) малоцелесообразно, в связи с его меньшей стоимостью на рынке и наличием поблизости крупного конкурента с развитой инфраструктурой (Беларуськалий).

Разработка системы обратной закладки и исследование вопроса получения закладочных смесей

Переходя к вопросу создания системы обратной закладки отметим, что для определения ее технико-технологических параметров, а также для инициализации процесса проектирования закладочного комплекса важно последовательно получить и обработать данные по горно-геологическим условиям, химико-технологическим параметрам переработки руд, инфраструктурным решениям и т.д. Укрупненно процесс разработки и внедрения системы обратной закладки на предприятии можно представить в виде блок-схемы (рис. 3).

Последовательно переходя от этапа к этапу в рамках приведенной блок-схемы, возможно разработать основные технические условия, осуществить проектирование, монтаж и отладку всей системы обратной закладки. Критическими моментами при создании системы обратной закладки являются: компонентный состав закладываемой смеси, объем отработанного пространства, скорость застывания и крепость закладочного материала [6].

Достижение заданных прочностных и деформационных свойств закладочного массива и необходимой полноты заполнения выработанного пространства обеспечивается взаимодействием трех взаимозависимых групп факторов, к которым относятся:

- физико-механические и реологические свойства закладочных смесей (их состав, жидкотвердое соотношение, подвижность, вязкость, расслаиваемость, скорость схватывания);
- горнотехнические условия размещения закладок (геометрические размеры выработанного пространства, углы наклона почвы и кровли, температура вмещающих руд и пород, характер проводимых работ);



- технология приготовления и транспортирования смесей в выработанное пространство (способ подачи смесей, режим и интенсивность заполнения выработанного пространства, технические и технологические решения по использованию жидкости от промывки трубопроводов).

Первая группа факторов предопределяется и задается технологией приготовления твердеющих смесей и, при условии их соблюдения, обеспечивает требования трубопроводного транспорта.



Рис. 3. Укрупненный порядок разработки и внедрения системы обратной закладки на шахтах по добыче полиминеральных солей

Вторая группа определена геологическими условиями и горнотехническими требованиями (параметры системы разработки, схемы подготовки и нарезки рудных тел и др.), при этом степень воздействия на них ограничена или экономически не всегда целесообразна.



Третья группа факторов практически полностью поддается регулированию и управлению.

Приготовление твердеющих закладочных смесей необходимых составов и их транспортировка по трубам в устойчивом режиме – наиболее ответственные элементы технологии закладочных работ.

Технологические процессы обогащения полиминеральных солей Калининградской области предполагают производство хлористого магния ($MgCl_2$) в качестве основного побочного продукта. Однако, использование только данного вещества в качестве закладочной массы невозможно по геомеханическим соображениям. В результате помимо хлористого магния в закладочную смесь могут быть включены галит, ангидрит, а также в обязательном порядке – вяжущие вещества, позволяющие повысить прочность смеси и скорость ее застывания [7].

Разработка смеси обратной закладки может быть разделена на два этапа: начальные тесты проводятся при смешивании хлорида магния (пульпы) с хлоридом натрия в соотношении приблизительно 7 к 10, что является ожидаемым при образовании хвостов от флотации при процессе производства сульфата калия. Окончательная концентрация определяется из объемов закладки и пропускных характеристик трубопроводной системы. Подсчет баланса отработанного пространства свидетельствует о том, что при заполнении выработанных камер раствор хлорида магния должен быть высоконцентрированным. Это обусловлено ограниченностью объемов закладочного пространства в связи с применением камерно-столбовой системы отработки [8]. Для проведения тестов была выбрана концентрация $MgCl_2$ в 40 %. Выбор данной концентрации обуславливался следующими причинами:

1. Более высокое содержание жидкости означает необходимость повышенного использования связывающих компонентов для достижения аналогичной прочности;

2. Высокое содержание жидкости создает условия для более быстрого осаждения пульпы;

Значение объемного баланса должно быть настолько низким, насколько это возможно. Высокие концентрации более предпочтительны, однако подобные пульпы не могут быть транспортированы сквозь трубы из-за высокой скорости застывания смеси. Пульпа с содержанием 40 % $MgCl_2$ используется для создания закладочного материала, заполняющего до 75-83 % от объема выработанного пространства. Для производства пульпы $MgCl_2$ вода должна быть выпарена под низким давлением для концентрирования $MgCl_2$ в промышленном хвостовом растворе. Вместе с тем кристаллическая структура получаемой пульпы $MgCl_2$ довольно немобильна, поскольку содержит сплетающиеся частицы. На рисунке 4а показан ком таких частиц, застрявший в ковше.



Рис. 4. 40% суспензия $MgCl_2$, до промеливания (а) и после промеливания (б).

Вязкость получаемой суспензии $MgCl_2$ считается слишком высокой, чтобы транспортировать ее через ствол и подземные выработки по трубопроводам к зоне закладки без риска заку-



порки труб и седиментации в сосудах. Для уменьшения вязкости этой суспензии образовавшиеся игольчатые кристаллы должны быть разбиты на более однородные. Это возможно осуществить путем промеливания суспензии. Кроме того, решение уменьшить общий размер кристаллов положительно влияет на вязкость. Для промеливания возможно использовать мельницы стержневого типа. Непосредственно после мельницы должны быть установлены устройства магнитной сепарации. При данных мерах закладочная смесь может быть транспортирована через трубопроводные системы в ствол шахты и далее к отработанным камерам, без риска ее преждевременной кристаллизации и застывания [9].

Последним важным компонентом закладочного материала является вяжущее вещество. В случае с закладкой пульпы на основе $MgCl_2$ и $NaCl$ в качестве подобного агента могут применяться такие соединения как CaO или MgO . Учитывая то, что в полиминеральных рудах уже присутствует магний, экономически целесообразнее получать вяжущие компоненты в должном количестве прямо на месте. Далее перейдем к рассмотрению различных вариантов расположения инфраструктуры обратной закладки, а также к вопросу физического описания прохождения пульпы по трубопроводной сети от поверхности до закладочной камеры.

Анализ альтернативных вариантов расположения элементов закладочной системы и особенностей ее функционирования

Транспортировка закладочной смеси может осуществляться двумя способами. Первый способ состоит в транспортировке через ствол шахты всех компонентов закладочной смеси, т.е. пасты и вяжущих, а также промывочного рассола, посредством отдельных трубопроводов. Данные трубопроводы устанавливаются в шахте до начала горных работ. Стоит отметить, что любой ремонт или замена этих трубопроводов будет оказывать нежелательное влияние на непрерывную работу шахты. Для минимизации подобных простоев необходимо устанавливать резервные трубопроводы для каждого компонента закладки. Дополнительно рекомендуется монтировать трубопровод для подачи закладочной смеси со стенками большей толщины и футеровкой из стойкого к абразивному воздействию материала – для максимизации срока работы и снижения количества ремонтов и замен [10].

Наиболее эффективной технологией закладки побочных продуктов является гидравлическая напорная подача закладочной смеси с помощью насоса по закрытому трубопроводу от расположенного на поверхности смесительного комплекса через вертикальный ствол, штрек к забою и далее в отработанные выработки. Основными компонентами закладочного комплекса являются:

- на поверхности: узел приготовления закладочной смеси с высоким содержанием твёрдого;
- накопительный бункер;
- шламовый насос;
- трубопровод от поверхности до подземных выработок;
- промежуточный насос под землёй (при необходимости);
- система распределения закладочной смеси по ширине забоя и трубопроводы для подачи смеси в полости, подлежащие заполнению.

В случае размещения транспортной системы для подачи закладочной смеси в стволе вертикальные трубопроводы оканчиваются в околоствольном дворе кранами сброса высокого давления. Эти краны используются только во время паузы на обслуживание для изолирования подземной транспортной инфраструктуры от стволовых трубопроводов. Полное статическое давление в стволовых трубопроводах будет воздействовать на эти краны, в результате их класс давления должен совпадать с соответствующими стволовыми трубопроводами. Для минимизации риска блокирования стволового трубопровода эти краны должны быть полнопроходными.

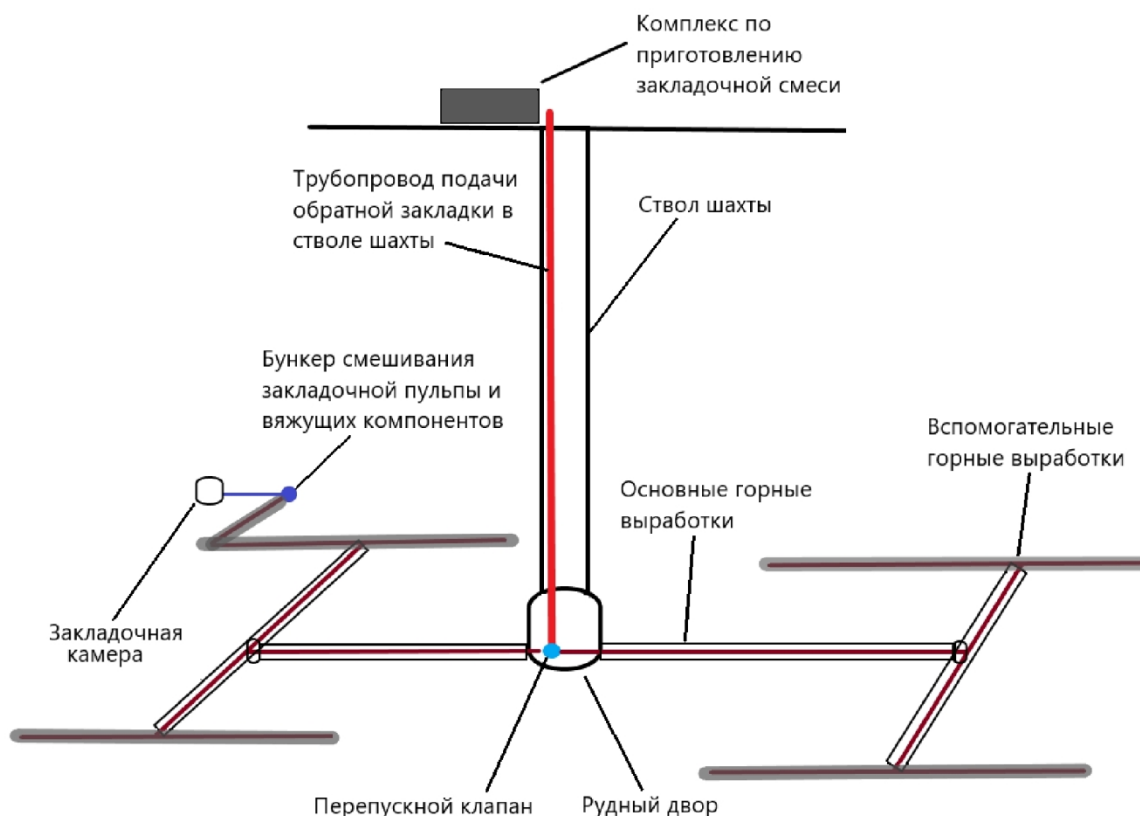


Рис. 5. Упрощённая схема размещения транспортной сети по обратной закладке через ствол шахты.

Во избежание помех при осуществлении работ в стволе (т.е. скиповых операций) и обслуживания или замены трубопроводов по обратной закладке существует второй альтернативный способ их размещения. Данный способ заключается в использовании технологии бурения и формирования скважин применяемой в нефтегазовой индустрии при размывке соляных каверн. Эта альтернатива особенно применима для пластовых трубопроводов, поскольку предполагает наивысшую ожидаемую износостойкость оборудования скважин и, следовательно, наилучшие показатели по их обслуживанию. Рисунок 6 показывает альтернативный вариант поставки закладочной смеси в шахту.

Суть альтернативного варианта состоит в бурении специальных скважин с проведением их обсадки, крепления затрубного пространства – во избежание перетоков между отдельными водоносными горизонтами. Через данные скважины, минуя ствол шахты, осуществляется прокачка закладочной смеси по трубопроводам в главные шахтные выработки, откуда уже смесь распределяется системой трубопроводов к закладочным панелям [11].

Вариант закладки при помощи скважин имеет следующие преимущества. Во-первых, независимость от оборудования ствола. Во-вторых, любой вид обслуживания может производиться независимо от работы ствола. В-третьих, замена труб в случае, если их стенка истерлась из-за абразивной природы закладочной смеси, является довольно простым процессом, при котором старые трубы просто меняются на новые. Операция по замене труб не мешает работам в стволе и может быть осуществлена буровым станком с поверхности за короткие сроки (1-2 недели), в то время, как замена трубопровода в стволе может занять несколько недель и мешать горным работам.

Дополнительное достоинство данного способа – это возможность устанавливать подобные скважинные трубопроводы в нескольких стратегических местах на поверхности, в результате чего может быть упрощена подземная схема доставки смеси. В этом случае избегается затратная установка и обслуживание длинных горизонтальных подземных трубопроводов, поскольку



большая часть горизонтальных операций совершается на поверхности. Неудобство данной альтернативы в том, что кран сброса давления или гаситель, оба – очень технически сложные элементы – должны устанавливаться на дне скважинного трубопровода [12].

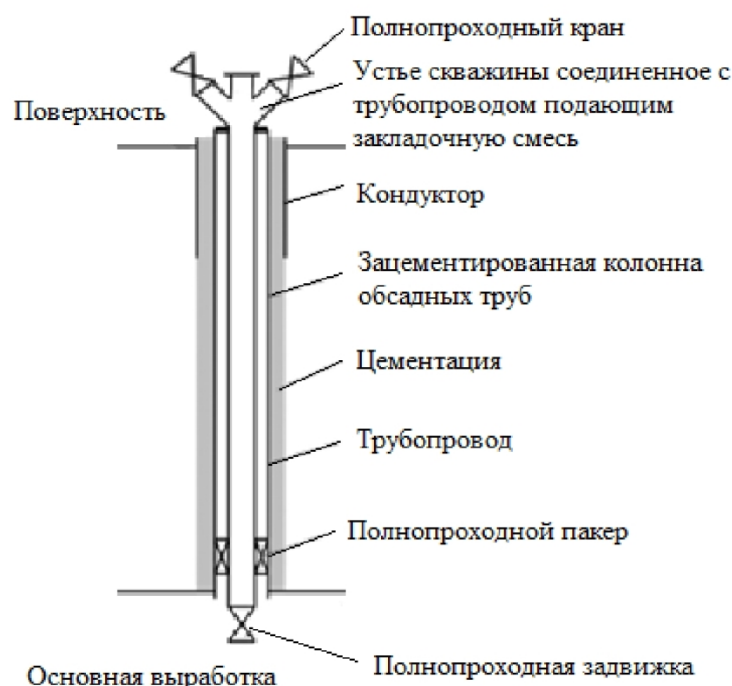


Рис. 6. Альтернативный вариант доставки закладочной смеси в шахту

С физической точки зрения процесс прохождения закладочной смеси по трубопроводам (как в первом, так и во втором способах) может быть описан модифицированным уравнением Бернулли (с допущением, что концентрация закладочной смеси не изменяется на всем протяжении трубопровода).

$$p + hRg + \frac{v^2}{2}R + \Delta pl = const \quad (1)$$

где p – давление; h – глубина; R – плотность закладочной смеси; v – скорость закладочной смеси; Δp – начальное сопротивление потока; l – длина; g – ускорение силы тяжести.

Применив уравнение (1) к точке выхода из трубопровода, получим следующее уравнение для потока обратной закладки:

$$HRg = \sum_{i=1}^n \Delta p_i l_i \quad (2)$$

В ходе расчетов, а в дальнейшем и на практике установлено, что различие в величине атмосферного давления на входе и на выходе в закладочный трубопровод, а также по всей системе в целом невелико. В результате для отдельно взятой точки трубопровода уравнение давления закладочной смеси принимает следующий вид:

$$HRg = P_b + h_b Rg + \frac{v_b^2}{2}R + \sum_{i=1}^k p_i l_i \quad (3)$$

где: H – общая глубина трубопровода; h_b – глубина расположения точки закладки в панель; l_b – глубина трубопровода от перепускного клапана до точки ведения закладочных работ (b); v_b – скорость потока в точке b ; n – количество ответвлений трубопровода; k – порядковый номер трубопровода от перепускного клапана до выхода к точке b ; P_b – давление в точке b .



Необходимо отметить, что для решения подобных уравнений нужны данные по начальному сопротивлению потока в закладочном трубопроводе. Величина начального сопротивления различается в зависимости от вида закладочного материала. В случае с побочными продуктами на основе полиминеральных солей и с добавлением вяжущих компонентов она может быть определена по следующей формуле:

$$\Delta p = \lambda_{\text{в}} \frac{v^2}{2D} \rho_{\text{в}} (1 - C_v) + \lambda_j \frac{v^2}{2D} \rho_j C_v \quad (4)$$

где $\lambda_{\text{в}}$ – коэффициент сопротивления воды 0,012-0,017; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды; C_v – концентрация по объему; ρ_j – плотность закладочной смеси из MgCl_2 , ангидрита, галита и вяжущих компонентов; D – диаметр; λ_j – коэффициент сопротивления закладочной смеси (0,022-0,026).

В настоящее время предполагается, что давление закладочной смеси, формируемое в окрестном дворе, возможно использовать для ее транспортировки к очистным выработкам. Динамическая потеря давления в горизонтальных трубопроводах происходит с помощью изменения диаметра горизонтального трубопровода. У этого метода есть два достоинства: во-первых, не требуется насос для транспортировки пасты на длинные горизонтальные расстояния, и, во-вторых, можно избежать использования клапана сброса давления или гасителя. Возле очистной выработки, которую необходимо заложить, необходим небольшой бункер, в который отдельно будет поступать закладочная смесь и загуститель, перемешанная суспензия будет закладываться в камеру.

Важно отметить, что вяжущие компоненты должны подмешиваться к закладочной смеси в конечной точке маршрута (для предотвращения схватывания смеси внутри трубопроводной системы). В ходе ряда исследований подтверждены достаточные прочностные характеристики закладочной массы после застывания. Так ее прочность при одноосном сжатии через 28 суток достигает 10 МПа при относительной влажности воздуха порядка 80 %, и 16 МПа при относительной влажности воздуха – 40 %.

Осуществление операций по обратной закладке в отработанные панели

В ходе отработки продуктивного полиминерального слоя, в нем формируется ряд выемочных камер. Далее, для заполнения отработанного пространства закладочным материалом создается опалубка. Возможно несколько вариантов строительства опалубки в камерах [13].

Первый вариант опалубки – массивная опалубка, которая составляется из хлористого натрия, отбитого из промежуточных слоев. Эта опалубка должна создаваться с учетом ее уклона, соответствующего углу стабильного положения зерен галита (рис. 7-а).

Вторым вариантом опалубки, является использование биг-бегов (заполненных хвостами шлама из промывочной установки) при входе в отработанную камеру. Смоченный галит может быть использован для заполнения любых пустот между биг-бэгами и таким образом полностью закрывать проход в отработанное пространство (рисунок 7-б).

Третий вариант опалубки – возведение стенки из кирпичей или сопоставимого материала. Данная опалубка полностью закрывает отработанное пространство (рис. 7-с).

Все эти три подхода или их комбинации равно нацелены на закрытие отработанного пространства для размещения там закладочной пульпы. Вид опалубки, который необходимо будет использовать в шахте во многом зависит от наличия материалов и требований по организации процесса закладочных работ.

Использование опалубки в ходе ведения закладочных работ является обязательным условием, поскольку подаваемая закладочная пульпа по своей консистенции довольно жидкая и ей требуется определенная форма для застывания.

По завершении закладочных работ в отработанную камеру происходит демонтаж данного участка системы обратной закладки (подающих трубопроводов и смесителей) с ее последующим перемещением в сторону новой обрабатываемой камеры. Таким образом, данный узел системы (комплекс смешивания закладочной пульпы и подачи вяжущего агента и подающие в



закладочную камеру трубы / шланги) должен быть мобильным, разборным, обладать высокой стойкостью к химической коррозии и абразивному воздействию.

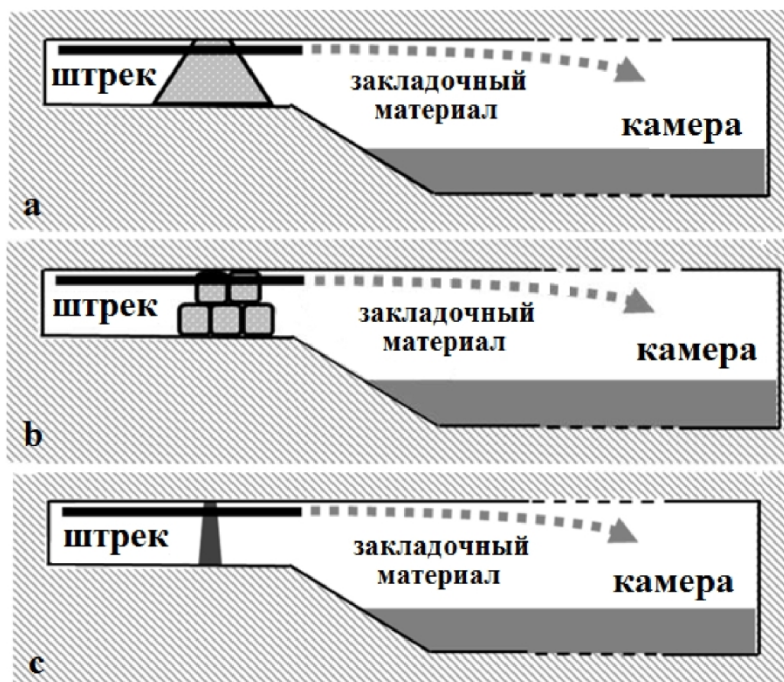


Рис. 7. Виды опалубки при ведении обратной закладки в камеры месторождения полиминеральных солей, галлитовая опалубка (а); опалубка из биг-бегов (b); опалубка из кирпичной кладки (с).

Управление технологическим процессом разработки месторождения полиминеральных солей и применения обратной закладки

Одной из важнейших задач в ходе организации работы всего комплекса по добыче и переработке полиминеральных руд является взаимоувязка технологических процессов. В данном случае речь идет о создании такой системы управления, которая позволит регулировать, во-первых, объемы, зоны и виды обрабатываемого в шахтном поле сырья; во-вторых, процесс обогащения, объемы и качество основных и побочных продуктов; в-третьих, объемы выработанного пространства и технологические параметры проведения закладочных работ. Здесь следует указать на то, что если на каком-либо из этапов (добыча руды, обогащение, закладка) возникнут значительные сбои в технологическом процессе, то это приведет к остановке всего добывающего комплекса. Так, в частности, низкое качество или недостаток объемов извлекаемых руд может привести к снижению качества основного продукта и к переизбытку побочных продуктов. В результате может возникнуть кризис объема закладочного пространства.

Для снижения подобных рисков существует целый комплекс различных технических и технологических методов. В частности, на этапе отбора руды возможно осуществление селективной выемки посредством проведения экспресс-диагностики обрабатываемого слоя и задействования специальных комбайнов. Кроме того, дополнительным элементом, страхующим обоганительный комплекс от получения руды низкого качества, является склад по усреднению. На данном складе производится смешивание руды и ее доведение до кондиций, необходимых на процессе обогащения. Корректировка качества и объемов получаемой в ходе процесса обогащения продукции также возможна – путем управления процессом флотации, смешивания, кристаллизации и т.д. [14].



Вместе с тем для обеспечения единства всего комплекса мероприятий, а также для управления объемами и сроками передачи сырья, основных и побочных продуктов (в особенности в условиях максимального использования всех компонентов и при отсутствии отходов) рациональным представляется внедрение в подобное производство системы «Бережливого производства». Одной из важных составляющих «Бережливого производства» является способ построения движения объемов продукции или материалов между структурными подразделениями предприятия. Это способ «Вытягивающего производства». Его применение в случае всего комплекса по добыче и переработке полиминеральных руд представляется крайне необходимым. Так, в данном случае, ориентация всего технологического процесса должна быть направлена не только на объем получаемого товарного продукта, но и на объемы по закладке. Таким образом, величина закладочных камер, скорость прокачки и скорость застывания закладочных смесей являются одними из важнейших условий при формировании всей технологической цепи. Это позволит сократить объемы хранения «побочных продуктов» до 80%, минимизировать возможные простои техники. Вкупе с применением системы «точно в срок» станет возможно наладить сквозной контроль качества по всему технологическому процессу, снизить производственные издержки на 10-20%, предотвратить возможную нехватку закладочного пространства [15].

На практике подобный подход означает, что формируется следующая цепочка: наличие закладочного пространства является триггером, запускающим сигнал на закладочный комплекс по приготовлению смеси. Запрос на получение закладочной смеси передается с комплекса по ее приготовлению на промежуточный склад побочного продукта, и служит сигналом к передаче побочного продукта. Выбытие объемов побочного продукта с промежуточного склада служит сигналом для технологического процесса обогащения (о возможности пуска процесса и наличии дополнительных объемов для хранения побочного продукта) [16]. В свою очередь пуск процесса обогащения (или его поддержание) служит сигналом для склада усреднения и для добывающего комплекса. Здесь важно подчеркнуть, что таким образом реальным передаваемым объемам предшествует передача сигнала и информации о возможности осуществления технологических операций предыдущего этапа. В результате возникает необходимость создания интерактивной информационной системы, в которой будут задействованы все технологические процессы и которая будет осуществлять обмен информации и отслеживать выполнение команд [17]. Во многом именно использование подобного подхода позволит осуществлять качественную обработку полиминеральных месторождений в Калининградской области.

Заключение

Влияние постиндустриального общества в настоящее время распространяется и на такие фундаментальные элементы ноосферы, как добыча полезных ископаемых. В современном мире невозможно представить обработку месторождений без использования целого комплекса инженерных, геологических, информационных и физико-химических технологий, позволяющих обеспечить экологическую и техническую безопасность, повысить извлекаемость полезных компонентов, обеспечить гибкость и точность технологических процессов, а также должное качество продукции.

Одной из технологий, активно развивающихся в горнодобывающей отрасли в настоящее время, является обратная закладка. В случае с месторождениями полиминеральных солей, в особенности в Российской Федерации, опыт применения данной технологии незначителен. Между тем, несмотря на относительно высокую стоимость ее применения, именно она способна во многом снизить целый ряд геологических и технических рисков для месторождений, а также решить проблемы с размещением отходов на земной поверхности. Применительно к калийным месторождениям размещение побочных продуктов, а также поддержание целостности водозащитных толщ, предотвращение развития системы трещин – крайне актуальные вопросы.

С данными проблемами на территории постсоветского пространства постоянно сталкиваются целый ряд предприятий (Уралкалий, Беларуськалий, Еврохим). Разработка технологии обратной закладки и ее оптимизация применительно к ресурсной базе того или иного место-



рождения является необходимым условием для развития современной горнодобывающей компании (в особенности в отрасли производства калийных удобрений).

Резюмируя, можно утверждать, что освоение новых месторождений полиминеральных солей, в особенности в таком регионе как Калининградская область, должно проводиться с применением обратной закладки. Разработка проекта закладочного комплекса, химического состава закладочных смесей, моделирование поведения закладочного материала в горном массиве полиминеральных солей при сжатии камер, являются следующими этапами в реализуемых проектах. В заключение отметим, что, прорабатывая общую концепцию освоения соляных месторождений в Калининградской области, важно руководствоваться методикой «вытягивающего производства».

Список источников

1. Вишняков А.К., Загородных В.А., Руденко Д.Г. Калийно-магниевые соли Калининградской области / Горный журнал. – 2010. – №3. – С. 25-30.
2. Загородных В. А. Новый тип калийно-магниевых солей в цехштейне Южной Прибалтики // Литология и полезные ископаемые. - 1994. № 1. - с. 124-187.
3. Шувалов Ю.В., Ковалев О.В., Мозер С.П., Тхориков И.Ю., Трошиненко Г.А. К вопросу снижения инвестиционных рисков при разработке калийных месторождений / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. - №11. – с.366-372.
4. Аптуков В.Н., Ваулина И.Б., Мачерет А.М. Методика оценки текущего и перспективного состояния водозащитной толщи при разработке Верхнекамского месторождения калийных солей / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. - №1. – с. 196-206.
5. Соловьев В.А., Секунцов А.И., Скопинов М.В. Пластовая подготовка выемочных блоков при разработке верхнекамского месторождения калийных солей / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. - №4. – с. 56-62.
6. Артемьев В.Г. Совершенствование метода расчета параметров системы разработки калийных месторождений / Рудник будущего. 2010. - №1. – с. 23-25.
7. Смычник А.Д., Морев А.Б., Васько М.В. Системы разработки калийных месторождений: технологические схемы, оборудование, эффективность / Горная механика. 2008. - №4. – с. 16-28.
8. Крутько Н.П., Шевчук В.В. Совершенствование технологии производства гранулированных калийных удобрений и повышение их качества / Рудник будущего - 2011. № 4 (8). - с. 12-14.
9. Овсенко Л.В., Крутько Н.П., Смычник А.Д., Костив И.Ю., Ульянова Т.М., Сычева О.А. Исследование процессов синтеза и термохимических превращений калийно-магниевых солей, полученных при переработке полиминеральной руды / Международный симпозиум "Химия для биологии, медицины, экологии и сельского хозяйства" ISCHEM 2015 – 2015, с. 179.
10. Нордин В.В., Щербань П.С. Современные подходы по управлению качеством проектирования и сооружения горнодобывающих предприятий / Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2016. - №2 (44). – с. 70-77.
11. Аглюков Х.И. Совершенствование технологии закладочных работ // Горный журнал. - 2003. - №1. - С. 35-38.
12. Ковалев О.В., Мозер С.П., Тхориков И.Ю., Сиренко Ю.Г. Проблема снижения инвестиционных рисков при подземной разработке калийных месторождений / Горная механика и машиностроение. 2010. - №1. – с. 14-19.
13. Sheshpari, Morteza (Mori). (2015). A review of underground mine backfilling methods with emphasis on cemented paste backfill. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. 20. 5183-5208.
14. Li, Li. (2014). Generalized Solution for Mining Backfill Design. *International Journal of Geomechanics*. 14. 04014006. 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000329.
15. Goncharik I.I., Shevchuk V.V., Krutko N.P., Smychnik A.D., Kudina O.A. Synthesis of potassium sulfate by conversion of potassium chloride and magnesium sulfate / *Russian journal of applied chemistry* - 2014. № 12 (87). - с. 1804-1809.
16. Van Sambeek, Leo. (1992). Testing and modeling of backfill used in salt and potash mines.
17. V.Nordin, P.Shcherban. Improvement of management decisions quality at the engineering and constructing stages of modern mining companies / *Collection of scientific works of II nd International scientific seminar management, economics, ethics, technics - "Economic, social and civilization challenges in the age of globalization"*, Zabrze 2016



References

1. Vishnyakov A.K., Zagorodnyh V.A., Rudenko D.G. Kalijno-magnievye soli Kaliningradskoj oblasti / Gornyj zhurnal. - 2010 №3. – s. 25-30.
2. Zagorodnyh V. A. Novyj tip kalijno-magnievych solej v cekhshtejne YUzhnoj Pribaltiki//Litologiya i poleznye iskopaemye. - 1994. № 1. - s. 124-187.
3. SHuvalov YU.V., Kovalev O.V., Mozer S.P., Thorikov I.YU., Troshchinenko G.A. K voprosu snizheniya investicionnyh riskov pri razrabotke kalijnyh mestorozhdenij / Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal). – 2010. - №11. – s.366-372.
4. Aptukov V.N., Vaulina I.B., Macheret A.M. Metodika ocenki tekushchego i perspektivnogo sostoyaniya vodozashchitnoj tolshchi pri razrabotke Verhnekamskogo mestorozhdeniya kalijnyh solej / Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal). – 2016. - №1. – s. 196-206.
5. Solov'ev V.A., Sekuncov A.I., Skopinov M.V. Plastovaya podgotovka vyemochnyh blokov pri razrabotke verhnekamskogo mestorozhdeniya kalijnyh solej / Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal). – 2014. - №4. – s. 56-62.
6. Artemov V.G. Sovershenstvovanie metoda rascheta parametrov sistemy razrabotki kalijnyh mestorozhdenij / Rudnik budushchego. 2010. -№1. – s. 23-25.
7. Smychnik A.D., Morev A.B., Vas'ko M.V. Sistemy razrabotki kalijnyh mestorozhdenij: tekhnologicheskie skhemy, oborudovanie, ehffektivnost' / Gornaya mekhanika. 2008. - №4. – s. 16-28.
8. Krut'ko N.P., SHEVCHUK V.V. Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva granulirovannyh kalijnyh udobrenij i povysenie ih kachestva / Rudnik budushchego - 2011. № 4 (8). - s. 12-14.
9. Ovseenko L.V., Krut'ko N.P., Smychnik A.D., Kostiv I.YU., Ul'yanova T.M., Sycheva O.A. Issledovanie processov sinteza i termohimicheskikh prevrashchenij kalijno-magnievych solej, poluchennyh pri pererabotke polimineral'noj rudy / Mezhdunarodnyj simpozium "Himiya dlya biologii, mediciny, ehkologii i sel'skogo hozjajstva" ISSNEM 2015 – 2015, s. 179.
10. Nordin V.V., SHcherban' P.S. Sovremennye podhody po upravleniyu kachestvom proektirovaniya i sooruzheniya gornodobyvayushchih predpriyatij / Vesti vysshih uchebnyh zavedenij CHernozem'ya. – 2016. - №2 (44). – s. 70-77.
11. Aglyukov H.I. Sovershenstvovanie tekhnologii zakladochnyh rabot //Gornyj zhurnal. - 2003. - № 1. - S. 35-38.
12. Kovalev O.V., Mozer S.P., Thorikov I.YU., Sirenko YU.G. Problema snizheniya investicionnyh riskov pri podzemnoj razrabotke kalijnyh mestorozhdenij / Gornaya mekhanika i mashinostroenie. 2010. - №1. – s. 14-19.
13. Sheshpari, Morteza (Mori. (2015). A review of underground mine backfilling methods with emphasis on cemented paste backfill. Electronic Journal of Geotechnical Engineering. 20. 5183-5208.
14. Li, Li. (2014). Generalized Solution for Mining Backfill Design. International Journal of Geomechanics. 14. 04014006. 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000329.
15. Goncharik I.I., Shevchuk V.V., Krutko N.P., Smychnik A.D., Kudina O.A. Synthesis of potassium sulfate by conversion of potassium chloride and magnesium sulfate / Russian journal of applied chemistry - 2014. № 12 (87). - s. 1804-1809.
16. Van Sambeek, Leo. (1992). Testing and modeling of backfill used in salt and potash mines.
17. V.Nordin, P.Shcherban. Improvement of management decisions quality at the engineering and constructing stages of modern mining companies / Collection of scientific works of II nd International scientific seminar management, economics, ethics, technics - "Economic, social and civilization challenges in the age of globalization", Zabrze 2016

Авторы

Павел Щербань, к.т.н., доцент Инженерно-технического института, Балтийского Федерального университета им. И. Канта. г. Калининград 236009, ул. Невского 14.
e-mail: P.Scherban@kantiana.ru

Сергей Разумович, инженер, выпускник Санкт-Петербургского Горного университета.
e-mail: sergeyrazumovich@gmail.com

Authors

Pavel Shcherban, Ph. D., associate Professor of Engineering and Technical Institute, Immanuel Kant Baltic Federal University. 236009, Kaliningrad, Nevski St. 14.
e-mail: P.Scherban@kantiana.ru

Sergey Razumovich, engineer, graduate of St. Petersburg Mining University.
e-mail: sergeyrazumovich@gmail.com



Владислав Голованов, магистрант института прикладной математики и информационных технологий, г. Калининград, 236009, ул. Невского 14.
e-mail: vlad260696@gmail.com

Vladislav Golovanov, master student of the Institute of applied mathematics and information technologies, 236009 Kaliningrad, Nevski St. 14.
e-mail: vlad260696@gmail.com

Библиографическое описание статьи

Щербань, П.С. Разработка технологии ведения закладочных работ на месторождениях полиминеральных солей / П.С. Щербань, С.В. Разумович, В.В. Голованов // Техника и технология горного дела. – 2018. – № 3(3). – С. 4-18.

Cite this article

Shcherban P., Razumovich S., Golovanov V. (2018) Development of backfilling operations technology during the mining of polymineral salt deposits, *Journal of mining and geotechnical engineering*, **3**(3):4.