

Обоснование структуры и параметров логистической схемы подземного рудника при разработке глубокозалегающих месторождений калийных солей системами с закладкой выработанного пространства

М.В. Рыльникова¹✉, И.В. Яковлев¹, Е.М. Сахаров², Р.В. Бергер²

¹ Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

² ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий», г. Котельниково, Волгоградская область, Российская Федерация
✉ rylnikova@mail.ru

Резюме: Статья освещает актуальную проблему разработки глубокозалегающих месторождений калийных солей подземным способом с закладкой выработанного пространства. Рассмотрены проблемы обоснования логистической схемы подземного рудника с применением закладки на основе обезвоженных солеотходов. Даны рекомендации по выбору логистической схемы закладочных работ с учетом геологических, геомеханических и экологических факторов. Описаны проблемы и ограничения, оказывающие влияние на выбор логистической схемы закладочных работ в увязке с общей технологической схемой разработки месторождения. Приведены технологические процессы закладочных работ, позволяющие определить рациональную логистическую схему закладочных работ в подземном пространстве глубокозалегающего рудника и повысить эффективность процесса утилизации отходов добычи и переработки руд в выработанном пространстве. Предложена новая логистическая схема для эффективной координации и управления закладочными работами, схема включает в себя использование новейших технических средств и технологий, а также максимальный мониторинг и автоматизацию процессов. Кроме того, описана перспективная технологическая схема механизации закладочного комплекса, которая обеспечит гарантированную безопасность и эффективность работы.

Ключевые слова: калийные месторождения, глубокозалегающий подземный рудник, логистическая схема рудника, закладочные работы, утилизация отходов, обезвоженные солеотходы, горнотехнические параметры

Для цитирования: Рыльникова М.В., Яковлев И.В., Сахаров Е.М., Бергер Р.В. Обоснование структуры и параметров логистической схемы подземного рудника при разработке глубокозалегающих месторождений калийных солей системами с закладкой выработанного пространства. *Горная промышленность*. 2023;(2):134–139. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-2-134-139>

Justification of the structure and parameters of logistics arrangements in an underground mine to develop deep potassium salt deposits using backfilling systems

M.V. Rylnikova¹✉, I.V. Yakovlev¹, E.M. Sakharov², R.V. Berger²

¹ Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

² EuroChem VolgaKaliy LLC, Kotelnikovo, Volgograd Region, Russian Federation
✉ rylnikova@mail.ru

Abstract: The article addresses a topical issue of mining deep potash deposits using the underground backfilling systems. Challenges are considered to justify the logistics arrangements in an underground mine to use backfilling with dewatered salt waste. Recommendations on the selection of the logistic scheme for the backfilling operations are given with account of geological, geomechanical and ecological factors. The challenges and constraints are described that affect the choice of the logistic scheme for the backfilling operations in coordination with the general mining process scheme. Technological processes of backfilling operations are presented that help to define a rational logistic scheme of backfilling operations in the underground space of a deep mine and enhance the efficiency of reclaiming the mining and ore processing wastes in the mined-out space. New logistic arrangements for efficient coordination and management of the backfilling operations has been proposed, which include the use of the latest equipment and technology, as well as maximized monitoring and automation of the processes. Additionally, a promising technological scheme for mechanization of the backfilling complex is described, which will secure the safety and efficiency of the operation.

Keywords: potassium salt deposits, deep underground mine, mine logistics, backfilling operations, waste management, dewatered salt waste, mining parameters

For citation: Rylnikova M.V., Yakovlev I.V., Sakharov E.M., Berger R.V. Justification of the structure and parameters of logistics arrangements in an underground mine to develop deep potassium salt deposits using backfilling systems. *Russian Mining Industry*. 2023;(2):134–139. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-2-134-139>

Введение

Природные минеральные ресурсы России в настоящее время являются и останутся в обозримой перспективе основой её экономического развития. В составе природноресурсной компоненты минерально-сырьевой базы страны значительная роль принадлежит месторождениям калийно-магниевых солей, разрабатываемых преимущественно подземным способом. Главной особенностью подземной добычи калийных солей является усложнение условий разработки: увеличение глубины залегания продуктивных пластов полезных ископаемых, их протяженности, невыдержанность конфигурации, морфологии и мощности. Все это обуславливает усложнение логистической схемы подземного рудника при разработке месторождений [1].

Так, впервые в мире при разработке месторождений калийных солей на подземном руднике Гремячинского ГОКа глубина горных работ превышает 1,1 км. В этих условиях освоение месторождения ведётся системами разработки с закладкой выработанного пространства, которая неразрывно связана с технологическими процессами добычи минерального сырья и во многом определяется, наряду с горно-геологическими, гидрологическими и горнотехническими особенностями месторождения, сложной гипсометрией пласта, с раздувами и пережимами, куполовидными поднятиями и изменениями углов наклона, разрывными нарушениями подстилающей толщи пород, низкими прочностными характеристиками и ползучестью соледержащих пород, сложными характеристиками температурного режима и низкой влажностью: пород и соляных отложений. На горизонте добычных работ температура массива горных пород достигает 38 °С, в то время как влажность породы в окрестности контура выработок изменяется в диапазоне 0,07–0,15%.

В этих условиях возможные виды и способы закладки выработанного пространства закладочными смесями различаются в зависимости от геологических и физико-механических свойств вмещающих пород и солеотходов, состава и способа подачи смеси в выработанное пространство, технологии доставки и укладки смесей в отработанное пространство. По количеству задач, многовариантности, а главное, высокой неопределенности результатов принятия технологических решений, экономических и экологических последствий, обоснование технологии закладки выработанного пространства не менее сложная проблема, чем добыча полезных ископаемых в столь сложных условиях. Сложная морфология соляных пластов, их складчатость, наличие фактурных осложнений, большая глубина разработки, различие прочностных и деформационных характеристик вмещающих пород продуктивных солей и их зависимость от влажности массива определили необходимость рассмотрения перспектив замены заложенной в проекте технологии гидравлической закладки на альтернативную закладку на основе обезвоженных солеотходов [2]. Поэтому потребовалась разработка новых логистических схем закладочных работ с преимущественным применением солеотходов. Выполненными в ИПКОН РАН исследованиями доказаны возможность и целесообразность

заполнения выработанного пространства отработанных камер составами на основе обезвоженных солеотходов. При этом независимо от способа формирования закладочного массива основной задачей являлось решение вопросов доставки обезвоженных закладочных материалов и распределения их в выработанном пространстве подземного рудника с обеспечением наибольшей полноты заполнения пустот для снижения деформации налегающей водозащитной толщи. Набор прочности, закладываемый массивом, позволяет увеличить полноту освоения запасов месторождения за счёт вовлечения в разработку оставленных целиков или их части.

Обобщение опыта закладки выработанного пространства солеотходами

Как указывала В.Н. Хайрутдинова, вопросы, связанные с применением систем разработки с закладкой выработанного пространства, обобщением опыта закладки выработанного пространства солеотходами, выбором материалов и составов закладочных смесей, технологии и механизации закладочных работ, транспортирования и укладки закладочных смесей, контролем состояния закладочного массива, отражены в работах таких профессоров как: И.И. Айбиндера, Н.И. Аксенова, О.А. Байконурова, Д.Н. Бронникова, М.И. Вескова, Н.Ф. Замесова, Д.М. Казикаева, В.Н. Калмыкова, В.П. Кравченко, Г.И. Кравченко, Л.А. Крупника, К.В. Мирошника, А.Н. Монтяновой, В.В. Руденко, М.Н. Цыгалова, М.Ф. Шнайнера и многих других ученых [3].

Следует отметить, что к настоящему времени в мировой практике накоплен значительный опыт применения сухой и гидравлической закладки при разработке месторождений калийных солей. Её применяют с целью защиты рудника от затопления для создания более благоприятных условий деформирования налегающей водозащитной толщи, уменьшения оседаний земной поверхности, а также для снижения объёмов складирования соляных отходов на поверхности за счёт частичной или полной их утилизации в выработанном пространстве подземных камер¹. В качестве закладочного материала используются отходы добычи и переработки соледержащего сырья. Технологии закладки выработанного пространства представляют собой единую технологическую схему закладочных работ, включающую такие производственно-технологические процессы, как приготовление смеси, перемещение её и укладка в выработанном пространстве (рис. 1).

Приготовление закладочной смеси – это совокупность технологических процессов, в которых предусматриваются подготовка и соединение компонентов закладочной смеси согласно техническим условиям, требованиям к характеристикам смеси и механическим свойствам закладочного массива. В процессе приготовления смеси учитываются режим её приготовления, а также вопросы транспортирования смеси в выработанное пространство [4]. Транспортировка до закладочных выработок – это

¹ Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей: технол. регламент. СПб.: 2004. 88 с.



Рис. 1 Технологические процессы закладки выработанного пространства на калийных рудниках

Fig. 1 Technological processes of backfilling operations in potassium salt mines

ключевой технологический процесс, обеспечивающий: стабильную и непрерывную подачу закладочных материалов или смесей с заданными реологическими и механическими характеристиками, а также бесперебойное дозирование, транспортирование и распределение закладочного материала в выработанном пространстве. Достижение максимальной полноты заполнения выработанного пространства является важнейшим условием при укладке закладочного материала в отработанные камеры.

Логистическая схема рудника

Логистическая схема закладочных работ при освоении месторождений калийных солей состоит из четырех базовых модулей, включающих: поверхностный, вертикальный, горизонтальный подземный и камерный (рис. 2).

Поверхностный логистический модуль (ПЛМ) – это ком-

плекс оборудования и инфраструктуры, предназначенный для хранения, перемещения, обезвоживания и загрузки закладочных материалов. ПЛМ состоит из нескольких модулей, каждый из которых выполняет определенную функцию. Модуль хранения – это модуль, предназначенный для хранения закладочных материалов в бункерах, которые имеют большую вместимость, обеспечивающую нормативную подачу закладочных материалов, и устойчивый каркас для защиты материалов от внешних погодных условий. Модуль транспортировки – это модуль, который позволяет перемещать закладочные материалы внутри ПЛМ при помощи транспортных средств непрерывного действия. Транспортеры могут быть разных типов, например, ленточные, цепные или винтовые, чаще всего они представлены ленточными конвейерами. Модуль дозирования – это модуль, который предназначен для точного дозирования закладочных материалов перед загрузкой в закладочный трубопровод, дозаторы могут быть автоматическими, механическими или ручными. Модуль загрузки – это модуль, который позволяет разгружать закладочные материалы в закладочный трубопровод, загрузочные устройства могут быть различных типов, например, ковши, лопасти или воронки с дозаторами. Контрольно-измерительный модуль – это модуль, который предназначен для контроля и измерения характеристик расхода закладочных материалов, а также физико-механических характеристик, таких как влажность и плотность. Контрольно-измерительные приборы позволяют получать полную и точную информацию о закладочных материалах и регулировать процесс их загрузки. Модуль управления – это модуль, который позволяет контролировать и управлять всеми узлами ПЛМ. Модуль управления может быть ручной или автоматический, он обычно включает в себя компьютер и специальное программное обеспечение.

Вертикальный логистический модуль (ВЛМ) – это часть логистической системы, предназначенной для вертикального перепуска обезвоженного закладочного материала с поверхности земли на магистральные подземные конвейерные линии. Он состоит из вертикального закладочного трубопровода, внутри которого расположен веер энергоснабжающих узлов, обеспечивающих стабильную и безопасную транспортировку материала. Это позволяет регулировать скорость перемещения смесей и избежать перегрузки или простоя на конвейере. Одной из ключевых особенно-

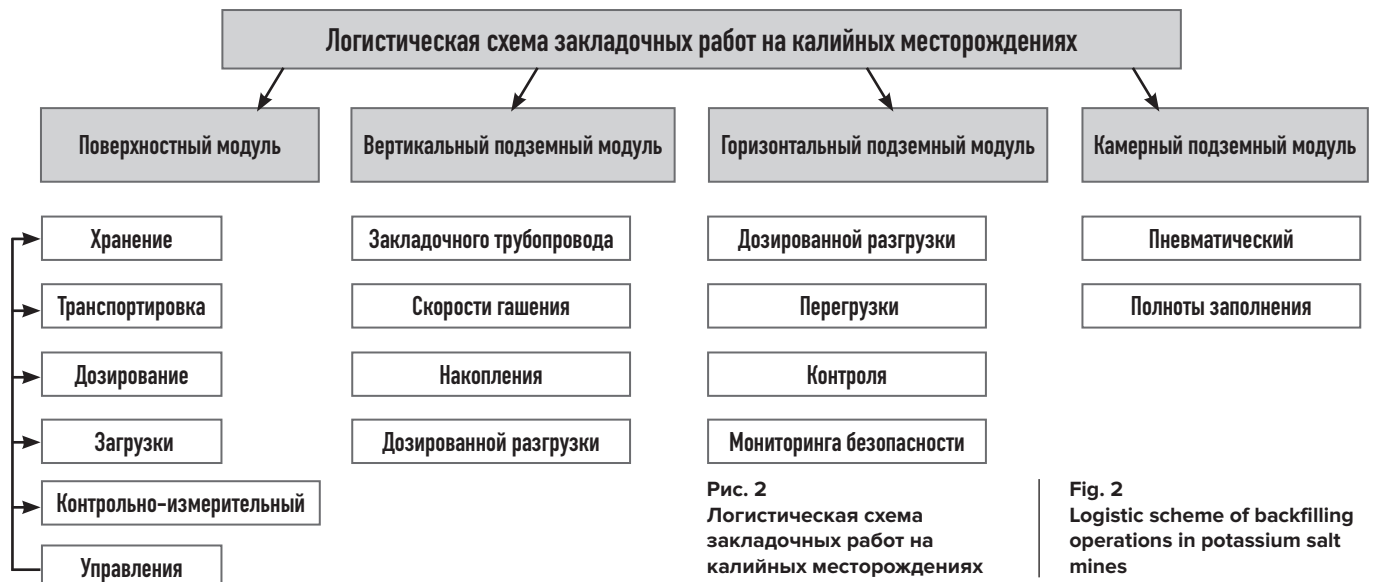


Рис. 2 Логистическая схема закладочных работ на калийных месторождениях

Fig. 2 Logistic scheme of backfilling operations in potassium salt mines

стей вертикального закладочного трубопровода является способность обеспечивать дозированную подачу закладочной смеси на горизонтальный конвейер, обеспечивая надежность, ритмичность, устойчивость и непрерывность заданного режима логистического процесса.

Горизонтальный логистический подземный модуль – это часть логистической системы, используемой для доставки обезвоженного закладочного материала от околоствольного двора до выработанного пространства по конвейерным линиям, ранее используемых для транспортировки добытых полезных ископаемых из очистных камер. Конвейерный модуль – это основные транспортные средства, которые перемещают материал по выработкам. Они могут быть как горизонтальными, так и наклонными. Перегрузочный модуль – модуль, где происходит перегрузка материала с одного конвейера на другой либо на иные транспортные средства. Модуль системы контроля – это оборудование, которое следит за процессом транспортировки материала и контролирует его качество. К этому модулю относятся датчики вибрации, уровня загрузки материала, системы сканирования и другие. Модуль мониторинга безопасности – это модуль, который обеспечивает сбор данных, обработку, анализ, контроль безопасности персонала и логистической схемы в целом во время транспортировки, включая системы противопожарной защиты, автоматической пожарной сигнализации, аварийной остановки конвейеров и пр.

Горизонтальная логистическая схема транспортировки сухих закладочных смесей разделена с технической точки зрения на две составляющие – магистральную и участковую. Магистральная часть представляет собой модифицированный выемочный конвейер 1 (рис. 3), по обратной стороне ленты которого передвигается сухая закладочная смесь к участковому конвейеру 2.

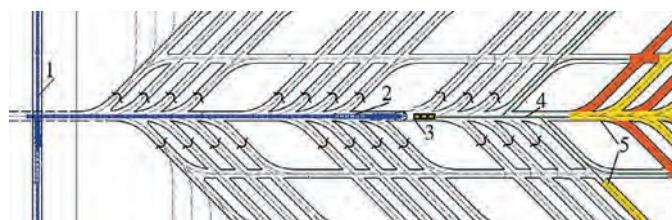


Рис. 3
Разработанная логистическая схема транспортирования сухих закладочных смесей:
1, 2 – магистральный и участковый конвейера;
3 – пневмокамерный насос;
4 – пневмопровод;
5 – закладываемые выработки

Fig. 3
The developed logistic scheme for transportation of dry backfill mixtures:
1, 2 – trunk and site conveyors; 3 – a pneumatic chamber pump;
4 – a pneumatic pipeline;
5 – mine workings to be back-filled

Камерный логистический модуль предусматривает подготовку смеси в соответствии с принятой рецептурой и режимом, доставку до точек подачи смеси в отработанные камеры и подачу, распределение смеси под давлением в выработанное пространство с обеспечением максимальной полноты заполнения камер и дозакладку после реализации процессов компрессионного сжатия и усадки закладочного массива.

Исследуя влияние гидрологических, горно-геологических, горнотехнических факторов на выбор логистической схемы перемещения рудничных потоков при ведении закладочных работ, мы выделили следующие показатели (табл. 1).

Таблица 1
Факторы, влияющие на выбор логистической схемы закладки

Table 1
Factors affecting the selection of a logistic scheme

Факторы	Показатели
Геологические	Глубина залегания, м
	Вещественный состав вмещающих пород, %
	Вещественный состав полезных ископаемых, %
Гидрогеологические	Технологические свойства полезных ископаемых, ед.
	Ожидаемый водопроток, м ³
	Мощность ВЗТ, м
	Влажность рудничного воздуха, %
	Влажность массива горных пород, %
	Наличие водопроводящих трещин W, ед.
Горнотехнические	Фильтрационные свойства пород, м/с
	Влажность пород, %
	Схема вскрытия
	Выход шламов, кг
	Выход солеотходов, кг
	Влажность солеотходов, %
	Состав закладочной смеси, кг
Свойства закладочной смеси	Предельное содержание влаги в закладочной пульпе, %
	Требования к подвижности смеси, см
	Требования к полноте заложения выработок, %
	Абразивность, мг
	Грансостав, кг
	Влажность, %
	Допустимый размер частиц: максимальный и минимальный, мм
Срок схватывания, ч	
Период набора прочности, сут	
Усадка, см	
Компрессионные свойства, см ² /кг	

Стоит отметить, что логистическая схема закладки характеризуется высокой капиталоемкостью, относительно большими операционными материальными затратами, в том числе запчастями и комплектующими материалами на обслуживание конвейерных линий, трубопроводов, пневмонасосов и пр. [5].

Также необходимо учитывать условия пласта, наличие природных и технологических трещин, которые влияют на процесс заполнения камер, растворимость на мягких и подстилающих породах, что предопределяет необходимость использования систем мониторинга управления геомеханическими процессами [6].

При разработке новой логистической схемы подземного рудника необходимо учитывать проявления дополнительных факторов: динамических нагрузок при перепуске сухого закладочного материала по трубопроводам, снижения скорости при движении смеси по горизонтальной выработке; обеспечение рабочего давления пневматической системы для подачи солеотходов в выработанное пространство пневматическим способом с предварительным равномерным увлажнением подаваемых солеотходов; обеспечение максимальной дозакладки выработок закладочным материалом под кровлю по представленной на рис. 4 технологической схеме.

Согласно приведенной схеме солеотходы подаются с поверхности по стволу и горизонтальным выработкам к закладываемым камерам сухим способом. Пневмотранспорт сухих закладочных смесей от магистральных конвей-

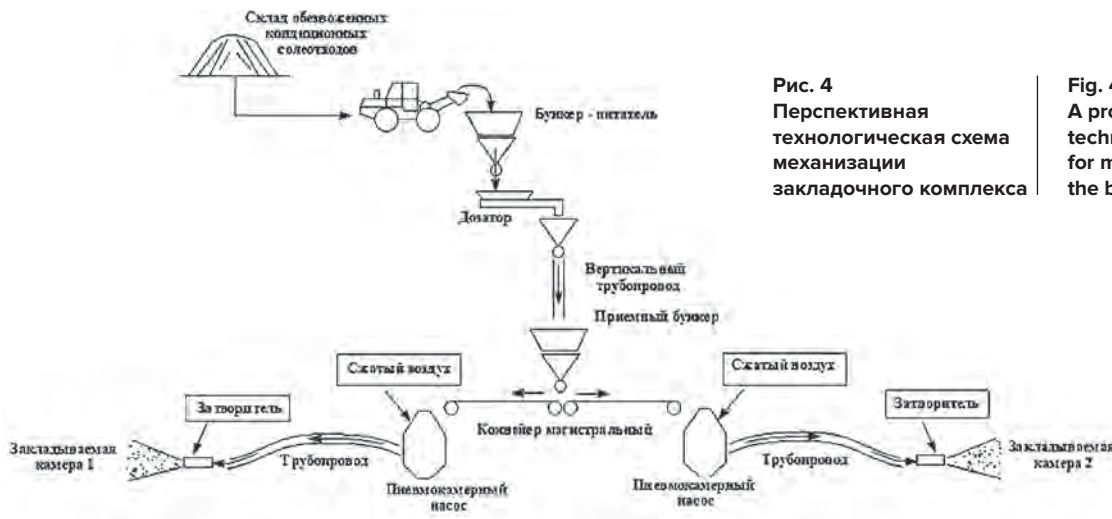


Рис. 4
Перспективная технологическая схема механизации закладочного комплекса

Fig. 4
A promising technological scheme for mechanization of the backfilling complex

еров дает возможность эффективного добавления в сухую смесь жидкого затворителя на этапе подачи их в закладываемую камеру. Необходимо учитывать, что для обеспечения возможности формирования консолидированного закладочного массива следует обеспечить увлажнение солеотходов путем равномерного смачивания в момент подачи в камеры. При этом допустимое увлажнение смеси определяется процессом влагоотдачи. Такие увлажнения обеспечиваются путём установки форсунок высокого давления в защищенных от абразивного износа отводных каналах. Тем самым производится эффективное насыщение смеси рассолом. В целом анализ проектных решений по закладке выработанного пространства очистных камер обезвоженными солеотходами в условиях Гремячинского месторождения позволяет выделить преимущества и недостатки применения данной геотехнологии (табл. 2). Анализ табл. 2 свидетельствует об очевидных преимуществах использования логистической системы закладки вы-

работанного пространства обезвоженными солеотходами. Технология закладки сухими солеотходами по данным исследований ИПКОН РАН позволяет формировать консолидированные закладочные массивы, обеспечивая полную заполнения камер и возможность повышения уровня извлечения полезных ископаемых из недр. Кроме того, использование данной системы способствует рациональному управлению движением прямых и возвратных рудничных потоков минерального сырья в процессе добычи калийных солей и закладки выработанного пространства отходами их переработки, что повышает эффективность освоения уникального по масштабам и свойствам добываемого сырья Гремячинского месторождения калийных солей. Отмеченные в табл. 2 недостатки технологической схемы могут быть устранены на основе выполненных исследований и предложения проведения опытно-промышленных апробаций.

Таблица 2
Преимущества консолидированной закладки в сравнении с гидрозакладкой и закладкой сухими материалами

Table 2
Advantages of consolidated backfilling over the hydraulic and dry backfilling

Преимущества	Недостатки
рост полноты извлечения запасов высокоценного калийного сырья	необходимость корректировки базовых проектных решений, включая изменение логистической схемы рудника
возможность стадийной отработки запасов междукамерных целиков при достижении консолидированными закладочными массивами нормативной прочности	повышенный износ закладочных трубопроводов за счет высокой абразивности сухих солеотходов
меньшие сроки набора нормативной прочности консолидированным массивом, формируемым с ограниченным количеством рассола для исключения влагоотдачи при отсутствии и поступлении свободных рассолов в горные выработки	необходимость внедрения технологических решений, ранее не апробированных на соляных рудниках
отсутствие дренажа рассолов и необходимости их сбора в горных выработках с откачкой на поверхность	увеличение затрат электроэнергии на обезвоживание солеотходов, пневмотранспорт и уплотнение массива в закладываемых камерах
использование для приготовления закладочных смесей преимущественно отходов производства и местных материалов	риск апробации в промышленных условиях оригинальной конструкции перепуска на глубину солепровода, исключающий образование воздушных пробок и пневмоударов, с обеспечением гашения энергии падающих масс
возможность экономичного транспортирования в непрерывном режиме солеотходов по магистральным выработкам	риск изменения гранулометрического состава солеотходов при перемещении их по вертикальному солепроводу и недостижения требуемых показателей прочности закладочного массива
преимущественное применение отечественного технологического оборудования непрерывного действия	риск повышения запыленности рудничной атмосферы вблизи транспортных выработок при изменении гранулометрического состава солеотходов
возможность полной утилизации солеотходов, шламов и рассолов в выработанном пространстве очистных камер после завершения в них очистных работ	необходимость уплотнения смеси для минимизации деформации налегающей водозащитной толщ

Заключение

Рассмотрены характеристика Гремячинского месторождения калийных солей и особенности структуры массива, типы, физико-механические свойства полезных ископаемых и вмещающих пород, определяющие перспективность применения системы разработки с закладкой с утилизацией отходов добычи и переработки минерально-сырья в выработанном пространстве земных недр.

Выполненными в ИПКОН РАН исследованиями² доказана перспектива формирования консолидированных закладочных массивов из обезвоженных солеотходов, подаваемых в подземный рудник по вертикальному трубопроводу

² Отчет о научно-исследовательской работе на тему: «Обоснование и выбор вида, способа и технологии закладки выработанного пространства в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях ведения горных работ на Гремячинском месторождении калийно-магниевых солей» между ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий» и ИПКОН РАН

и далее по подготовительным выработкам конвейерным транспортом.

Анализ и выявление группы факторов, определяющих выбор логистической схемы закладочных работ, позволили предложить альтернативный вариант технологической схемы закладочных работ рудника с доставкой по горизонтальным и наклонным подготовительным выработкам в выработанное пространство очистных камер.

Сопоставительный анализ преимуществ и недостатков технологии закладки обезвоженными солеотходами при освоении Гремячинского месторождения калийных солей подтвердил предпочтительность предложенной логистической схемы рудника, требующей выполнения дополнительных аналитических расчётов, лабораторных и опытно-промышленных исследований.

Список литературы

1. Барях А.А., Смирнов Э.В., Квиткин С.Ю., Тенисон Л.О. алийная промышленность России: проблемы рационального и безопасного недропользования. *Горная промышленность*. 2022;(1):41–50. <https://doi.org/10.30686/16099192-2022-1-41-50>
2. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Перспективы развития технологии закладки выработанного пространства при подземной разработке рудных месторождений. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2011;(12):5–10.
3. Хайрутдинова В.Н. *Обоснование закладки выработанного пространства сульфидсодержащими отходами обогащения с использованием гель-технологии* [дис. ... канд. техн. наук]. М.; 2004. 115 с. Режим доступа: <http://www.dslib.net/geo-tachnology/obosnovanie-zakladki-vyrobotannogo-prostranstva-sulfidosoderzhawimi-othodami.html?ysclid=lgr193n3s3959376304>
4. Власов С.И. Обоснование рациональной интенсивности добычи руды в переходной зоне от открытых горных работ к подземным. В: *Комбинированная геотехнология: масштабы и перспективы применения: материалы междунар. науч.-техн. конф.* Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2006. С. 131–133.
5. Борзаковский Б.А., Папулов Л.М. *Закладочные работы на Верхнекамских калийных рудниках*. М.: Недра; 1994. 234 с.
6. Проскуряков Н. М., Пермяков Р.С., Черников А.К. *Физико-механические свойства соляных пород*. Л.: Недра; 1973. 272 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/15267?ysclid=lgr1ppnuac167134148>

References

1. Baryakh A.A., Smirnov E.V., Kvitkin S.Y., Tenison L.O. Russian potash industry: Issues of rational and safe mining. *Russian Mining Industry*. 2022;(1):41–50. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1-41-50>
2. Kaplunov D.R., Rylnikova M.V., Radchenko D.N. Prospects for development of the backfilling methods in underground ore mining. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2011;(12):5–10. (In Russ.)
3. Khairutdinova V.N. *Justification of backfilling with sulphide-containing processing wastes using gel-technology*. Cand. eng. sci. diss., Moscow; 2004. 115 p. (In Russ.) Available at: <http://www.dslib.net/geo-tachnology/obosnovanie-zakladki-vyrobotannogo-prostranstva-sulfidosoderzhawimi-othodami.html?ysclid=lgr193n3s3959376304>
4. Vlasov S.I. Justification of rational intensity of ore mining in the transition zone from open pit to underground mining. In: *A combined mining system: the scope and prospects for application, Materials of the International Scientific and Engineering Conference*, Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2006, pp. 131–133. (In Russ.)
5. Borzakovsky B.A., Papulov L.M. *Backfill operations at Verkhnekamsk potash mines*. Moscow: Nedra; 1994. 234 p. (In Russ.)
6. Proskuryakov N. M., Permyakov R.S., Chernikov A.K. *Physical and mechanical properties of salt rocks*. Leningrad: Nedra; 1973. 272 p. (In Russ.) Available at: <https://www.geokniga.org/books/15267?ysclid=lgr1ppnuac167134148>

Информация об авторах

Рыльникова Марина Владимировна – доктор технических наук, профессор, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: rylnikova@mail.ru

Яковлев Илья Владимирович – аспирант, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

Сахаров Евгений Михайлович – исполнительный директор, ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий», г. Котельниково, Волгоградская область, Российская Федерация

Бергер Роман Владимирович – кандидат технических наук, директор по производству, ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий», г. Котельниково, Волгоградская область, Российская Федерация

Информация о статье

Поступила в редакцию: 18.03.2023

Поступила после рецензирования: 20.04.2023

Принята к публикации: 22.04.2023

Information about the authors

Marina V. Rylnikova – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; e-mail: rylnikova@mail.ru

Ilya V. Yakovlev – Postgraduate student, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Evgeny M. Sakharov – Executive Director, EuroChem Volga-Kaliy LLC, Kotelnikovo, Volgograd Region, Russian Federation

Roman V. Berger – Cand. Sci. (Eng.) Director of Production, EuroChem VolgaKaliy LLC, Kotelnikovo, Volgograd Region, Russian Federation

Article info

Received: 18.03.2023

Revised: 20.04.2023

Accepted: 22.04.2023