

ГИДРОИЗОЛЯЦИЯ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНОГО УЧАСТКА НА КАЛИЙНОМ РУДНИКЕ

М.В. Скопинов

АО «ВНИИ Галургии», Пермь, Россия, e-mail: vniig@uralkali.com

Аннотация: Ликвидация горного предприятия или его части является одним из завершающих этапов освоения месторождения полезного ископаемого. Способы плановой контролируемой ликвидации предприятия, разрабатывающего месторождение водоразтворимых руд, такое как калийный рудник, ограничены из-за большого количества аварий, вызванных прорывом пресных вод в горные выработки. Выбор способа изоляции участка калийного рудника от остальной части выработок на шахтном поле зависит от горно-геологических и горнотехнических условий разработки месторождения. При «сухой» механизированной ликвидации калийного рудника или его участка требуется значительное время и ресурсы, величина которых превышает границы экономической эффективности и рациональности. Использование «мокрой» контролируемой ликвидации подразумевает заполнение выработанного пространства потенциально опасного участка жидкой средой, которой для соляного рудника может быть только минерализованный рассол, постепенно заполняющий весь объем пустот. Конструкции гидроизоляционных перемычек определяются по результатам исследований массива на проницаемость и расчетов параметров сооружения, а также свойств материалов, с учетом требуемого срока службы гидроизоляционных сооружений, ожидаемого давления и состава рассола. Перемычки должны состоять из упоров, между которыми будут расположены герметичные сегменты. Строительство упоров необходимо для удержания герметичных сегментов в исходном положении и компенсации возникающих в них напряжений. Герметичные сегменты исключают проникновение рассолов через тело перемычки и по ее контакту с массивом. Все технические решения по конструкции гидроизоляционных перемычек, их количеству и выбору материалов для конкретных условий определяются по результатам комплексных научно-исследовательских работ.

Ключевые слова: калийный рудник, «мокрая» ликвидация, горно-геологические условия, горнотехнические условия, гидроизоляционные перемычки, гидроизолирующий целик, выработанное пространство, проницаемость массива, герметичные сегменты, напряжения, зона разуплотнения, вруб.

Для цитирования: Скопинов М. В. Гидроизоляция выработанного пространства при ликвидации потенциально опасного участка на калийном руднике // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 4. – С. 59–71. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_4_0_59.

Waterproofing of mined-out voids during closure of potentially hazardous sites in potash mines

M.V. Skopinov

VNII Galurgii, Perm, Russia, e-mail: vniig@uralkali.com

Abstract: Closure of a mine or its part is one of the final phases in mineral mining. Methods of scheduled and controlled closure of a mine developing a deposit of water-soluble ore, such as a potash mine, are limited because of abundance of accidents induced by inrushes of fresh water in underground openings. The choice of a method to isolate a potash mine site from the other openings within the mine field depends on the geological and geotechnical conditions of mining. ‘Dry’ mechanized closure of a potash mine or its site takes much time and resources, much more than it is economically efficient and rational. ‘Wet’ controlled closure includes filling of a mined-out void of the potentially hazardous site with a liquid medium. Such medium in a salt mine can only be the mineralized brine which gradually fills the whole volume of the mined-out voids. Design of waterproof bulkheads is determined from the permeability studies of rock mass, and from the calculation of the structural parameters and properties of materials of the bulkheads, with regard to the required service life of the waterproof bulkheads, as well as the pressure and composition of the brine. The bulkheads should consist of props with waterproof segments arranged between them. The props are required to retain the waterproof segments in their preset positions, and to compensate stresses that appear in them. The waterproof segments eliminate seepage of brines through the body of a bulkhead and along its interface with rock mass. All engineering solutions on design and number of the waterproof bulkheads, and on materials selected for specific conditions are determined from the results of integrated scientific research.

Key words: potash mine, ‘wet’ mine closure, geological conditions, geotechnical conditions, waterproof bulkheads, waterproof pillar, mined-out void, rock mass permeability, waterproof segments, stresses, softening zone, cut.

For citation: Skopinov M. V. Waterproofing of mined-out voids during closure of potentially hazardous sites in potash mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025;(4):59-71. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_4_0_59.

Введение

В процессе освоения месторождений полезных ископаемых одним из завершающих этапов является ликвидация горного предприятия. В процессе эксплуатации предприятия также может возникнуть потребность в ликвидации потенциально опасного участка предприятия с целью продолжения безопасного ведения горных работ. Данный этап в большей степени зависит от горно-геологических и горнотехнических условий действующего рудника или шахты

и связан с результатами эксплуатации предприятия. Закрытие шахты (рудника) или ее участков — достаточно сложный вопрос, так как в данном процессе необходимо не только учитывать фактическую ситуацию, но и прогнозировать все возможные последствия. Таким образом, ликвидация участка рудника требует разработки технических решений не менее сложных, чем были предусмотрены ранее для его строительства [1, 2].

Опыт ликвидации рудников и шахт достаточно большой как в нашей стране,

так и в зарубежных странах, но из-за разнообразия горно-геологических условий и других особенностей месторождений каждый случай является уникальным. Способы плановой контролируемой ликвидации месторождений водорастворимых руд, таких как калийный рудник, ограничены из-за большого количества аварий, возникающих в процессе ведения горных работ [3]. Опыт эксплуатации калийных рудников показал, что главной опасностью при отработке запасов является нарушение водозащитной толщи (далее — ВЗТ). В результате нарушения ВЗТ вода поступает в горные выработки, происходит растворение горных пород, что в конечном счете ведет к затоплению рудника [4–7].

Эту особенность соляных пород требуется учитывать в первую очередь с целью предотвращения негативных последствий для окружающей среды [1].

Наиболее безопасным способом ликвидации горных выработок в соляных рудниках является «мокрый» контролируемый способ подачи насыщенных рассолов в выработанное пространство. Поступающие рассолы постепенно заполняют весь объем пустот, не приводя к растворению окружающих пород. Для ликвидации части рудника используются различные гидроизоляционные перемычки, ограничивающие горные выработки, подлежащие заполнению рассолами [4, 5].

В связи с этим, первоочередным мероприятием по ликвидации участка рудника является его гидроизоляция от всех остальных горных выработок [8].

Концепция гидроизоляционной защиты подземных выработок калийного рудника на Верхнекамском месторождении солей (далее — ВКМС) должна основываться на минимизации количества перекрываемых выработок, а также учитывать характеристики вмещающих пород, в которых планируется сооруже-

ние. Наиболее целесообразно расположение гидроизоляционных перемычек в однородных наименее слоистых и наиболее прочных горных породах, что не всегда обеспечивается. Данные сооружения могут иметь различные способы возведения, могут быть временными и постоянными, монолитными, самоуплотняющимися и с нагнетанием насыщенных растворов. В связи с этим главными задачами являются определение условий сооружения перемычек, их назначения, срока службы, выбор их конструкции и материалов для строительства. Данные перемычки должны гарантировать прочность и надежность, обеспечивая удержание давления рассола, которое может образоваться в выработанном пространстве ликвидируемого потенциально опасного участка. Тем самым такие перемычки должны обеспечить герметичное отделение выработанного пространства ликвидируемого участка от остальных выработок действующего рудника [6, 9–11].

Общие сведения о гидроизоляции выработанного пространства ликвидируемого участка

На одном из действующих рудников, который осуществляет разработку запасов сильвинита ВКМС, имеется потенциально опасный участок, предусматриваемый к ликвидации. Шахтное поле рудника полностью отвечает требованиям промышленной безопасности и разделяется на четыре гидроизолированных участка с помощью оставления гидроизолирующих целиков шириной не менее 200 м. Рассматриваемый участок рудника отделен от остальной части шахтного поля гидроизоляционными целиками и вскрыт отдельными главными и групповыми выработками. Через гидроизолирующий целик пройдено четыре групповых штрека: два вентиляционных, транспортный и конвейерный. Все выра-

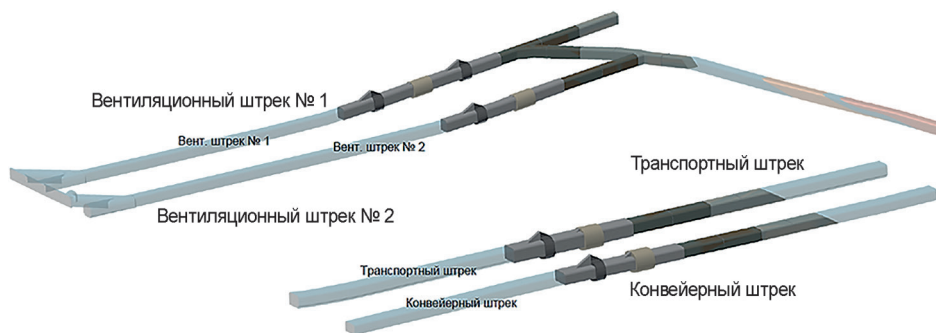


Рис. 1. Схема расположения гидроизолирующих сооружений (выделены темным цветом) в выработках
 Fig. 1. Layout of waterproof bulkheads (highlight in dark color) in mine workings

ботки были пройдены механизированным способом в подстилающей каменной соли, добычные работы на участке закончены, закладка выработанного пространства завершена в 2020 г.

Для герметичного отделения выработанного пространства потенциально опасного участка от остальных выработок действующего рудника и дальнейшего заполнения пространства рассолами предусматривается строительство гидроизоляционных перемычек [9]. До начала строительства каждой перемычки необходимо определить условия сооружения, выбрать место возведения и тип конструкции, а также материалы строительства с учетом физико-механических свойств горных пород и фактического состояния выработок и вмещающего массива.

Гидроизоляционное сооружение в калийном руднике должно иметь конструкцию, исключаящую смещение вдоль горной выработки под давлением, а также исключать проникновение рассолов как по самому телу перемычки, так и по контакту между перемычкой и окружающим массивом. Кроме того, место возведения перемычки должно учитывать пористость и проницаемость окружающего соляного массива за пределами гидроизолирующей конструкции, с целью исключения проникновения рассолов по вмещающим породам вдоль пе-

ремычки в течение требуемого срока службы. Сооружение включает в себя сегменты с разным назначением — включающие смещение конструкции и связывающие возможные поступающие рассолы [4, 5].

Для условий калийных рудников на ВКМС перемычки должны состоять из удерживающих сегментов — упоров, между которыми располагаются герметичные сегменты. Сооружение упоров необходимо для удержания герметичных сегментов в исходном положении и компенсации возникающих в них напряжений. Все сегменты гидроизолирующей конструкции предусмотрено монтировать во врубах. Размеры и конфигурация врубов в выработках определяются по состоянию массива горных пород, т.е. определяется величина подрубки почвы кровли и стенок выработки, в пределах которой под действием горного давления происходили конвергенции соляного массива и разуплотнение пород за период эксплуатации выработок.

Схема расположения гидроизолирующих сооружений в выработках представлена на рис. 1.

Определение параметров и выбор материалов для строительства перемычек

Для строительства гидроизоляционных сооружений требуется применение

специальных строительных материалов, работоспособность которых в соляных породах апробирована лабораторными исследованиями, а также заверена натурными опытными испытаниями в руднике.

При выборе материалов и технологии возведения гидроизоляционных сооружений за основу был взят опыт строительства гидроизоляционных перемычек в калийных рудниках Германии — Asse, Sondershausen, Morsleben и др.

Основной принцип возведения гидроизоляционных сооружений в отдельных выработках предусматривает определение проницаемости горных пород различными методами, газами и жидкостями. На основании данных исследований оценивается герметичность самого массива и скорость распространения в нем жидких сред на различных расстояниях от контура выработки, с целью определения глубины выемки разуплотненного массива в месте сооружения перемычек.

В конструкции перемычек во всех рассматриваемых выработках между механическими упорами из композитного строительного материала предусматриваются герметичные сегменты из бентонита и асфальта, которые должны предотвращать движение жидкости через тело самой перемычки и по контакту между сооружением и контуром выработки.

Состав и содержание основных компонентов во всех используемых материалах определяется в лабораторных условиях с учетом воздействия на них рассола с конкретным содержанием химических элементов.

Основными материалами, используемыми в строительстве гидроизоляционных перемычек, исходя из научных исследований, были выбраны:

- соляная насыпь (каменная соль и сильвинит);
- гашеная известь (гидроксид кальция);

- вяжущее на основе портландцемента с когезионными свойствами;

- асфальт;
- набухающий бентонит.

Соляная насыпь необходима для донасыщения возможных поступающих соляных растворов по Na и K. При строительстве перемычек используется имеющаяся на участке каменная соль и сильвинитовая руда с составом вмещающего массива, дополнительный материал для засыпки на участке предусматривается добывать с помощью комбайнового комплекса, который применяется на проходке очистных камер и подготовительных выработок.

В качестве гашеной извести (гидроксид кальция) используется стандартная гашеная известь, требуемая для снижения негативного влияния магния в составе рассола на бетонный упор № 1, расположенный со стороны возможного поступления рассола. Гашеная известь должна быть размещена таким образом, чтобы обеспечивать прямой контакт с поступающим рассолом для повышения pH окружающей среды. В результате возникающей химической реакции ожидается снижение концентрации магния в рассоле.

Перед засыпкой соли и гашеной извести расчетным методом определяется объем материала, гранулометрический состав, влажность и насыпная плотность [12]. Засыпка осуществляется механизированным способом в комбинации с ручным трудом и трамбовкой материалов под кровлю выработки.

Вяжущее из сульфатостойкой смеси на основе портландцемента, или calcium silicate hydrates (далее — CSH), является основным компонентом для выполнения упоров. Прочность бетона в упоре предусматривается не ниже В35. При монтажных работах необходимо использовать специальный безусадочный раствор, который позволяет затворять его

на рассоле, который насыщен KCl и $NaCl$, при этом достигается прочность не менее 50 МПа в течение 28 сут [13]. Данный раствор обеспечивает образование цементного камня без зазоров в стенках и кровле выработок, с высокой степенью адгезии к солям, что подтверждено многочисленными натурными экспериментами.

Герметичный сегмент из асфальта является жидким телом, в котором исключены повреждения. Принцип действия герметичного сегмента основан на гидростатическом давлении и высокой динамической вязкости асфальта, из-за свойств асфальта и его функциональности герметичный сегмент можно рассматривать как непроницаемый для рассола и газа.

Герметичный сегмент из набухающего бентонита необходим для активной гидроизоляции поперечного сечения штрека и контакта между материалом и массивом горных пород за счет давления набухания [14]. Возводится данный сегмент посредством сухой кладки бентонитовых кирпичей (около 95% объема), оставшиеся в кладке и контактирующие с породой полости заполняются спрессованным бентонитовым грануля-

том (около 5% объема); в результате монтажа бентонит увеличивается, возрастает давление набухания, и он становится низкопроницаемым [15].

Конструктивные решения и технология строительства перемычек

Строительство перемычек выполняется в выработках на участке длиной от 40 до 90 м, в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий, срока существования выработки и произошедших конвергенций кровли и почвы, а также результатов исследований и расчетов по проницаемости вмещающих соляных пород.

Работы по строительству перемычек необходимо выполнять последовательно, в направлении с востока на запад — от района возможного поступления рассолов.

В каждой перемычке предусматривается два герметичных сегмента: один из бентонита, второй из асфальта, а также три бетонных упора. Сооружение упоров необходимо для удержания герметичных сегментов в исходном положении и компенсации возникающих в них напряжений [16].

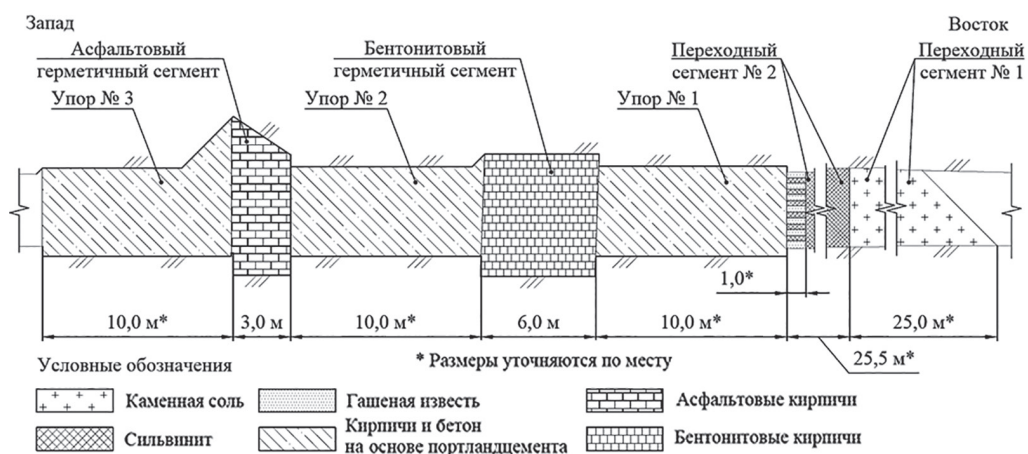


Рис. 2. Принципиальная схема гидроизоляционного сооружения

Fig. 2. Basic diagram of waterproof bulkheads

Принципиальная схема постоянного гидроизоляционного сооружения представлена на рис. 2.

Перечень и последовательность работ при строительстве гидроизоляционных сооружений в транспортном и конвейерном штреках, а также в одном из вентиляционных штреков во всех выработках аналогичны и включают в себя:

- заполнение выработок каменной солью, сильвинитом и гашеной известью;
- тампонаж массива в интервале строительства упора № 1;
- проходка вруба упора № 1;
- строительство упора № 1;
- проходка вруба герметичного сегмента;
- тампонаж массива в интервале строительства герметичного сегмента из бентонитовых кирпичей;
- строительство герметичного сегмента из бентонитовых кирпичей;
- проходка вруба упора № 2;
- строительство упора № 2;
- проходка вруба герметичного сегмента из асфальтового материала;
- монтаж коммуникаций системы поддержания давления в герметичном сегменте из асфальтового материала;
- строительство герметичного сегмента из асфальтового материала;
- проходка вруба упора № 3;
- строительство упора № 3.

Все перемычки монтируются во врубах с целью минимизации вторичного разуплотнения массива, поэтому проходку врубов необходимо осуществлять механизированным способом, без буровзрывных работ.

Во втором вентиляционном штреке через гидроизоляционное сооружение предусматривается прокладка трех стальных трубопроводов диаметром 273 мм для планового затопления рассолами ликвидируемой части шахтного поля рудника и отвода газовой среды.

После закачки рассола за перемычки предусматривается перекрытие и отсечение трубопроводов во втором вентиляционном штреке, а затем устройство дополнительного асфальтового сегмента и бетонного упора, предотвращающих проникновение рассолов через трубы из ликвидируемых горных выработок.

Для контроля процесса затопления ликвидируемого участка шахтного поля калийного рудника, а также для контроля влияния рассола на гидроизоляционное сооружение в гидроизоляционных перемычках предусматривается установка датчиков давления жидкости.

В ходе строительства на всех этапах работ должен быть предусмотрен отбор используемых материалов и полученных растворов для оценки качества применяемых материалов, которые сравниваются с допустимыми критериями, полученными посредством натуральных испытаний в лабораторных условиях.

Все бетонные упоры предусмотрено возводить как композитные сооружения из CSH-кирпичей (около 70% по объему) и CSH-раствора заливки (около 30% по объему). Кирпичи укладываются друг на друга с помощью кладочного раствора. Размер швов между кирпичами должен составлять от 15 до 40 мм. Заполнение зазоров между кирпичами осуществляется безусадочным цементным CSH-раствором.

С целью контроля и исключения возникновения нарушений на контакте бетон–соль при монтаже упоров в заливаемом растворе монтируются температурные датчики, контролирующие температуру формирования камня, чтобы не допускать превышение 60°, так как при нагревании бетонного тела может произойти расширение [17], а в процессе дальнейшего охлаждения может возникнуть зазор на контакте соли и бетона.

На контакте бетона и соли в первом бетонном упоре должен быть смонтиро-

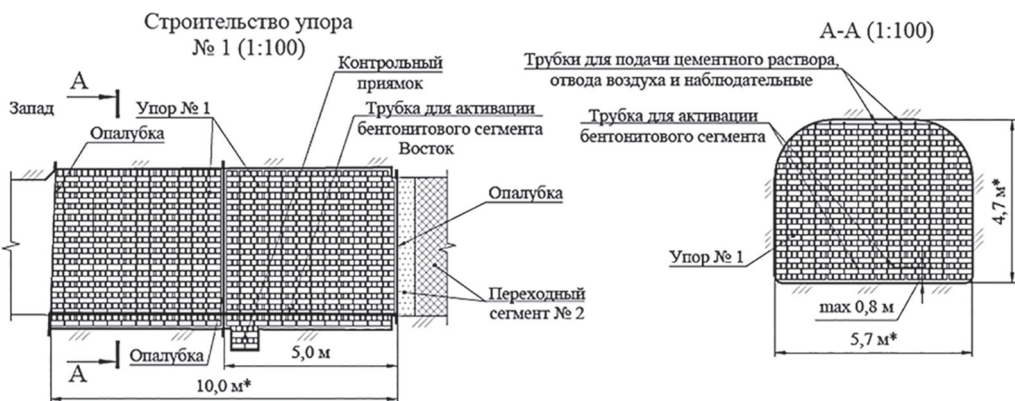


Рис. 3. Типовая схема строительства бетонного упора
Fig. 3. Typical diagram of concrete stop construction

ван датчик поступления жидкости, который в случае проникновения рассолов к перемычке подаст сигнал о начале эксплуатации гидроизолирующей конструкции.

На рис. 3 представлена типовая схема строительства бетонного упора.

После окончания строительства бетонного упора № 1 сооружается бетонитовый герметичный сегмент. Для этого от западной торцевой стенки упора № 1 на участке длиной 6 м проходится вруб. Габаритные размеры поперечного сечения вруба определяются соот-

ветствующими расстояниями от почвы, кровли и стенок выработок.

Монтаж бетонитового герметичного сегмента производится во врубе. В стенке вруба проходится ниша, в которую монтируется датчик давления жидкости. Монтаж датчика предусмотрен для мониторинга давления в бетонитовом сегменте при эксплуатации гидроизоляционного сооружения.

Кладка бетонитовых кирпичей в сухом состоянии обладает высокой проницаемостью. После контакта с рассолом бетонит начинает набухать, сокраща-

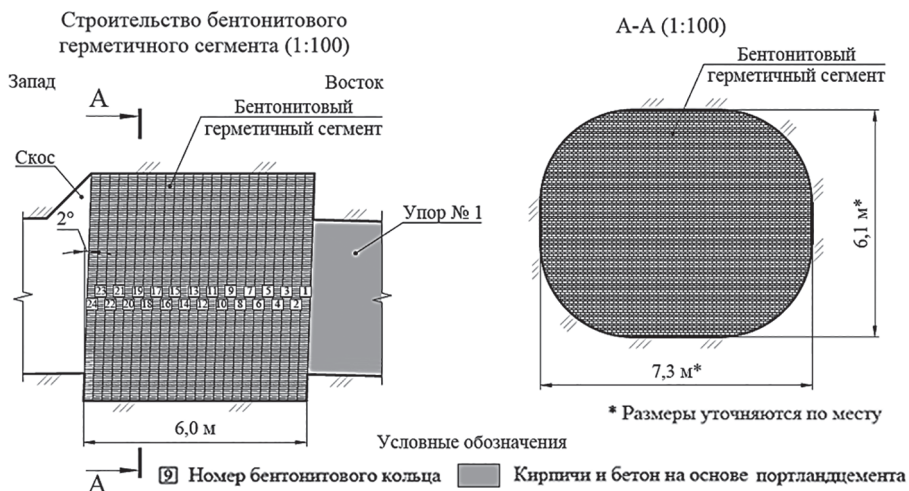


Рис. 4. Типовая схема строительства бетонитового герметичного сегмента
Fig. 4. Typical diagram of bentonite sealed segment construction

ется проницаемость, растет давление набухания. Для равномерного развития этих процессов необходимо обеспечивать равномерное распределение рассола в бентоните. Для этого восточная стенка бентонитового герметичного сегмента полностью перекрывается геотекстилем, который обеспечивает равномерное распределение жидкости по торцевой стенке бентонитового сегмента.

Кладка бентонитовых кирпичей выполняется кольцами с востока на запад. Внутри кольца кирпичи укладываются тычковой кладкой без использования строительного раствора между кирпичами.

Типовая схема строительства бентонитового герметичного сегмента представлена на рис. 4.

После укладки кирпичей бентонитового герметичного сегмента его стенка обрабатывается инертным эластичным покрытием и перекрывается битумным полотном. Реализация этих решений не позволит рассолу из строительного раствора бетонного упора № 2 взаимодействовать с бентонитом в процессе дальнейшего строительства.

Далее, аналогично возведению упора № 1 осуществляется сооружение бетонного упора № 2, после чего предусмотрено строительство асфальтового герметичного сегмента.

Герметичный сегмент возводится из асфальтовых кирпичей. Кладка выполняется в несколько этапов по высоте путем создания уступов. В опалубке герметичного сегмента монтируется трубопровод для подачи битума, так чтобы его конец выходил в центр асфальтового герметичного сегмента.

После сооружения асфальтового сегмента сооружается бетонный упор № 3 (аналогично предыдущим опорам), в котором также прокладывается труба для нагнетания битума в асфальтовый сегмент.

Для обеспечения функции гидроизоляции асфальтового герметичного сегмента предусматривается подача в него битума по трубопроводу под давлением 50 бар с помощью специального оборудования нагнетания и поддержания давления.

Тампонаж соляного массива при возведении перемычек

Сооружение всех герметичных сегментов перемычек должно производиться по методике [18], для этого были произведены исследования соляного массива на проницаемость газов и жидкостей, определена глубина, на которую нарушен массив вокруг выработки под воздействием горного давления. На основании данных исследований производится моделирование контура вруба, который впоследствии обрабатывается с применением средств механизации и затем тщательно отшлифовывается ручным инструментом.

В соответствии с результатами исследований проницаемости массива в районе строительства гидроизоляционных перемычек выявляется вероятность наличия зон с незначительным повышением проницаемости. Для перекрытия путей движения рассола в этих зонах предусматривается тампонаж приконтурного массива на участках строительства сегментов перемычек.

При выборе тампонажного материала необходимо учитывать, что затверждение материала должно происходить под давлением. Для разных видов солей тампонажный материал применяется различный, он должен быть мелкодисперсный с низкой вязкостью, но высокой адгезией к солям. Тампонаж массива предусматривается выполнять путем бурения шпуров диаметром 42 мм в кровлю и почву выработки с продувкой и последующим их заполнением под давлением тампонажным материалом. В каждом

штреке на участке строительства сегмента предусмотрено по 3 тампонажных сечения, в каждом из которых до десяти шпуров, расстояние между сечениями и шпурами должно составлять около 0,5 м (уточняется по состоянию массива). Длины шпуров определяются с учетом напряженности массива и составляют от 2 до 3 м. Время затвердевания тампонажного материала определяется в процессе производства работ. При бурении шпуров необходимо производить отбор керна для оценки глубины нарушения массива от поверхности выработки [19].

Технология тампонажа массива следующая. При проведении работ в кровле осуществляется нагнетание тампонажного состава в шпур на глубину до 1,5 м с высоким давлением до 75 атм., при этом пакер не извлекается до полного затвердевания тампонажного материала. Далее шпур разбуривается до глубины 3 м и тампонируется оставшаяся его часть с пониженным давлением, при этом пакер также не извлекается до полного затвердевания тампонажного материала. Технология тампонажа в почве отличается тем, что пакер извлекается сразу после окончания процесса нагнетания давления.

В зависимости от результатов и опыта тампонажных работ по каждому месту строительства перемычек уточняется необходимость создания дополнительной серии тампонажных шпуров, которые располагаются между предыдущими.

Заключение

Выбор способа гидроизоляции ликвидируемого участка калийного рудника необходимо осуществлять с учетом особенностей геологического строения массива горных пород и горнотехнических условий участка, а также на основании результатов научных исследований как по соляным породам, так и по

рассолам, располагающимся или ожидаемым на участке шахтного поля рудника.

С учетом данных факторов гидроизоляционные сооружения должны обеспечивать герметичное отделение выработанного пространства ликвидируемого участка от остальных выработок шахтного поля рудника, исключать вторичную деформацию соляного массива в процессе строительно-монтажных работ, а также образование новых каналов проникновения рассолов в течение требуемого срока эксплуатации гидроизолирующих конструкций.

Наиболее важным фактором при выборе мест сооружения перемычек и размеров их конструкции являются результаты исследований проницаемости массива, по которым делаются выводы о величине разуплотнения массива пород по периметру выработок, подлежащих выемке для исключения обыгрывания рассолами гидроизоляционных сооружений.

С учетом многолетнего опыта на других месторождениях и предприятиях разработаны наиболее оптимальные решения по применяемым материалам и конструкции гидроизоляционных сооружений для условий калийного рудника ВКМС: перемычки должны состоять из герметично установленных в горной выработке неподвижных упоров, а также герметичных сегментов из набухающего бентонита и асфальта, состав которых должен быть определен лабораторными исследованиями и натурными испытаниями в руднике.

Кроме того, должны быть выполнены мероприятия по дополнительному тампонажу массива при выявлении такой необходимости, а также приняты решения по донасыщению рассола необходимыми компонентами с целью исключения растворения окружающих перемычку пород. Таким образом, пред-

лагаемый комплекс решений и мероприятий позволит создать надежные герметичные конструкции, отделяющие дей-

ствующую часть рудника от ликвидируемого участка на шахтном поле выработанного пространства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барях А. А., Евсеев А. В. Ликвидация калийных рудников и соляных шахт: обзор и анализ проблемы // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 9. — С. 5–29. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-09-0-5-29.
2. Барях А. А. Обоснование способа ликвидации калийных рудников // Горное эхо. — 2019. — № 4. — С. 23–27. DOI: 10.7242/echo.2019/4/5.
3. Зубов В. П., Ковальский Е. Р., Антонов С. В., Пачгин В. В. Повышение безопасности рудников при отработке Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 5. — С. 22–33. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-22-33.
4. Смирнов Э. В., Зданович М. Я., Урминский Д. Г., Скопинов М. В., Курсанин Ю. В., Салахив Д. Ф., Русаков М. И., Носов О. А., Елькин А. А. Патент RU 2 801 258 С1, 04.08.2023. Способ герметизации участка горной выработки в соляном руднике. 2023. Бюл. № 22.
5. Смирнов Э. В., Зданович М. Я., Урминский Д. Г., Скопинов М. В., Русаков М. И., Носов О. А., Елькин А. А. Патент RU 2 795 491 С1, 04.05.2023. Гидроизоляционное сооружение. 2023. Бюл. № 13.
6. Whyatt J., Varley F. Catastrophic failures of underground evaporite mines / Proceedings of 27th International Conference on Ground Control in Mining. NIOSH. Spokane Research Laboratory, USA, 2008, pp. 17–23.
7. Rauche H. Sinkhole formation over flooded potash mines — Case studies from the motherland of the potash industry / Fall 2000 Meeting. San Antonio, Texas, USA, 2000, p. 161.
8. Парфенов А. П., Сланевский В. В., Мезенцев В. В. Строительство гидроизоляционных перемычек на калийных рудниках // Шахтное строительство. — 1988. — № 9. — С. 21–22.
9. Andreichuk V., Eraso A., Domínguez M. C. A large sinkhole in the Verchnekamsky potash basin in the Urals // Mine Water and the Environment. 2000, vol. 19, no. 1, pp. 2–18.
10. Девятков С. Ю. Обоснование условий образования провалов на земной поверхности при аварийных затоплениях калийных рудников // Стратегия и процессы освоения георесурсов. — 2018. — № 16. — С. 98–101.
11. Асанов В. А., Евсеев А. В. Влияние рассолов на механические свойства соляных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2010. — № 2. — С. 363–366.
12. Титова Н. В., Климович В. В., Воздействие агрессивных солевых рассолов на строительные материалы для возведения гидроизоляционных сооружений // Горная механика и машиностроение. — 2019. — № 2. — С. 16–20.
13. Смычник А. Д., Шемет С. Ф., Гречко А. М., Шутин С. Г., Кологривко А. А. Новые способы защиты от рудничных водопритоков с помощью гидроизоляционных перемычек // Горная механика и машиностроение. — 2010. — № 3. — С. 41–45.
14. Титова Н. В., Шутин С. Г., Шаповалов В. И. Использование бентонитового материала при возведении гидроизоляционных сооружений в подземных горных выработках калийных шахт / Актуальные направления современных научных исследований и их роль в развитии общества, экономики и государства: сборник научных статей по итогам Международной межвузовской научно-практической конференции. — СПб., 2024. — С. 16–26.
15. Грунер М. Г., Мозер С. П. Опыт создания и эксплуатации флюидоизолирующих перемычек в соляных шахтах // Горная механика и машиностроение. — 2012. — № 2. — С. 12–22.
16. Шкуратский Д. Н., Скопинов М. В., Смирнов Э. В., Барях А. А. Ликвидация потенциально опасных участков на калийных рудниках // Горный журнал. — 2023. — № 3. — С. 5–12. DOI: 10.17580/gzh.2023.03.01.
17. Бадмаева Э. В., Урханова Л. А., Лхасаранов С. А. Исследование влияния нанодобавок и суперпластификаторов на тепловыделение портландцемента / Образование и наука. Техниче-

ские науки. Материалы национальной научно-практической конференции ВСГУТУ. — Улан-Удэ, 2020. — С. 61–63.

18. Jobmann M., Wilsnack T., Voigt H. D. Investigation of damage-induced permeability of Opalinus clay // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2010, vol. 47, no. 2, pp. 279–285. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2009.11.009.

19. Титова Н. В., Протьюко Н. С., Шутин С. Г. Тампонажный материал для герметизации горной породы при строительстве гидроизоляционных сооружений в калийных рудниках // *Горная механика и машиностроение*. — 2024. — № 2. — С. 78–84. **МИАБ**

REFERENCES

1. Baryakh A. A., Evseev A. V. Closure of potash and salt mines: Review and analysis of the problem. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 9, pp. 5–29. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-09-0-5-29.

2. Baryakh A. A. Justification of the potash mine abandonment method. *Gornoe ekho*. 2019, no. 4, pp. 23–27. [In Russ]. DOI: 10.7242/echo.2019/4/5.

3. Zubov V. P., Kovalski E. R., Antonov S. V., Pachgin V. V. Improving the safety of mines in developing Verkhnekamsk potassium and magnesium salts. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 5, pp. 22–33. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-22-33.

4. Smirnov E. V., Zdanovich M. Ya., Urminskiy D. G., Skopinov M. V., Kursanin Yu. V., Salakhiev D. F., Rusakov M. I., Nosov O. A., El'kin A. A. *Patent RU 2 801 258 S1*, 04.08.2023. [In Russ].

5. Smirnov E. V., Zdanovich M. Ya., Urminskiy D. G., Skopinov M. V., Rusakov M. I., Nosov O. A., El'kin A. A. *Patent RU 2 795 491 S1*, 04.05.2023. [In Russ].

6. Whyatt J., Varley F. Catastrophic failures of underground evaporite mines. *Proceedings of 27th International Conference on Ground Control in Mining*. NIOSH. Spokane Research Laboratory, USA, 2008, pp. 17–23.

7. Rauche H. Sinkhole formation over flooded potash mines — Case studies from the motherland of the potash industry. *Fall 2000 Meeting*. San Antonio, Texas, USA, 2000, p. 161.

8. Parfenov A. P., Slanevskii V. V., Mezentsev V. V. Construction of waterproof bulkheads in potash mines. *Shakhtnoe stroitel'stvo*. 1988, no. 9, pp. 21–22. [In Russ].

9. Andreichuk V., Eraso A., Domínguez M. C. A large sinkhole in the Verkhnekamsky potash basin in the Urals. *Mine Water and the Environment*. 2000, vol. 19, no. 1, pp. 2–18.

10. Devyatkov S. Yu. Justification of the conditions for the sinkhole formation on the ground surface during emergency flooding of potash mines. *Strategiya i protsessy osvoeniya georesursov*. 2018, no. 16, pp. 98–101. [In Russ].

11. Asanov V. A., Evseev A. V. Influence of brines on mechanical properties of salt rocks. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2010, no. 2, pp. 363–366. [In Russ].

12. Titova N. V., Klimovich V. V., Impact of aggressive salt brines on building materials for construction of waterproofing structures. *Gornaya mekhanika i mashinostroenie*. 2019, no. 2, pp. 16–20. [In Russ].

13. Smychnik A. D., Shemet S. F., Grechko A. M., Shutin S. G., Kologrivko A. A. New methods of protection against mine water inflows by means of waterproof bulkheads. *Gornaya mekhanika i mashinostroenie*. 2010, no. 3, pp. 41–45. [In Russ].

14. Titova N. V., Shutin S. G., Shapovalov V. I. Use of bentonite material in the construction of waterproof bulkheads in underground mine workings of potash mines. *Aktual'nye napravleniya sovremennykh nauchnykh issledovaniy i ikh rol' v razvitiy obshchestva, ekonomiki i gosudarstva: sbornik nauchnykh statey po itogam Mezhdunarodnoy mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Relevant directions of modern scientific research and their role in the development of society, economy and state. Collection of scientific articles based on the results of the International Interuniversity Scientific and Practical Conference], Saint-Petersburg, 2024, pp. 16–26. [In Russ].

15. Gruner M. G., Mozer S. P. Experience of construction and operation of fluid-insulating bulkheads in salt mines. *Gornaya mekhanika i mashinostroenie*. 2012, no. 2, pp. 12–22. [In Russ].

16. Shkuratskii D. N., Skopinov M. V., Smirnov E. V., Baryakh A. A. Abandonment of potentially hazardous areas in potash mines. *Gornyi Zhurnal*. 2023, no. 3, pp. 5–12. DOI: 10.17580/gzh.2023.03.01. [In Russ].

17. Badmaeva E. V., Urkhanova L. A., Lkhasaranov S. A. Investigation of the effect of nano-additives and superplasticisers on the heat release of Portland cement. *Obrazovanie i nauka. Tekhnicheskie nauki. Materialy natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii VSGUTU* [Education and science. Technical sciences. materials of the national research-practical conference of VSGUTU], Ulan-Ude, 2020, pp. 61 – 63. [In Russ].

18. Jobmann M., Wilsnack T., Voigt H. D. Investigation of damage-induced permeability of Opalinus clay. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2010, vol. 47, no. 2, pp. 279 – 285. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2009.11.009.

19. Titova N. V., Prot'ko N. S., Shutin S. G. Backfill material for rock sealing during construction of waterproof bulkheads in potash mines. *Gornaya mekhanika i mashinostroenie*. 2024, no. 2, pp. 78 – 84. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Скопинов Михаил Владимирович – директор проектной части,
директор горно-геологической научной части,
АО «ВНИИ Галургии», e-mail: Mihail.Skopinov@uralkali.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

M. V. Skopinov, Director for Design,
Director of Mining and Geological Research Section,
VNII Galurgii, 614002, Perm, Russia,
e-mail: Mihail.Skopinov@uralkali.com.

Получена редакцией 24.10.2024; получена после рецензии 26.12.2024; принята к печати 10.03.2025.
Received by the editors 24.10.2024; received after the review 26.12.2024; accepted for printing 10.03.2025.

