ОЛЕГ КАЛЕДИН, МАТТИАС ГРЮНЕР
Фрайбергская горная академия, Германия

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ РАЗУПЛОТНЕННОЙ ПРИКОНТУРНОЙ ЗОНЫ ПРИ ЗАХОРОНЕНИИ ТОКСИЧНЫХ ОТХОДОВ В СОЛЯНЫХ ПОРОДАХ

Одним из способов надежной изоляции при захоронении токсичных отходов является изоляция отходов в специальных сооружениях в глубоко залегающих плотных геологических формациях (в частности в массивах каменной соли). В статье рассмотрены новые технологии и материалы для изоляции разуплотненной приконтурной зоны при захоронении токсичных отходов в соляных породах.

One of the safe and efficient ways to insulate toxic wastes in their underground disposal is their burial in specially constructed structures in deep-lying non-porous geological formations in particular sodium chloride massifs. This article describes innovative technologies and new materials used for insulation of the deconsolidated border zone of underground toxic waste disposal sites constructed in saliferous rocks.

Для надежной изоляции и захоронения токсичных отходов существует достаточно много различных технологий. Один из методов – изоляция отходов в специальных сооружениях в глубоко залегающих плотных геологических формациях (в частности, в массивах каменной соли).

При проектировании и строительстве подобных сооружений принято руководствоваться принципом многобарьерности инженерной защиты. Это подразумевает создание нескольких работающих независимо друг от друга систем и использование различных материалов и технологий изоляции.

Для всех применяемых при строительстве защитных сооружений материалов необходимо доказать их долговременную стабильность. В настоящее время в Германии как правило в качестве основного уплотняющего элемента применяется бентонит в различных формах (гранулат, порошок, брикеты, блоки и т.д.).

В последние годы была обнаружена проблема проникновения грунтовых вод в сооружения через приконтурную часть породного массива. При сооружении выработки в соляных породах вокруг ее контура на глубину 5-50 см создается трещиноватость, сильно ухудшающая прочностные и гидроизоляционные свойства породы. При сооружении хранилищ в калийных солях, например, карналитите в приконтурной части массива сразу после сооружения выработки создается выветреная зона, проницаемость которой очень высока. Причина возникновения такой зоны – высокая химическая активность пород, слагающих массив, особенно при наличии гигроскопичных солей (например, тахидрида). Порода втягивает влагу из воздуха, в результате чего породный массив намокает, что приводит к химическим реакциям. При этом размер трещин не позволяет рассматривать их как макротрещины, т.е. приконтурная часть массива пород соли представляет из себя пористое тело с микропорами размером 0,01-0,1 мм.

Опасность этого явления состоит в том, что в случае поступления жидкостей к хранилищу вредности могут распространиться на большие расстояния по трещинам и нарушениям в обделке и приконтурном массиве, по капиллярам и порам в приконтурной части массива. При этом соляные растворы могут обтекать защитные сооружения (закладки и дамбы), перемещаясь в приконтурной области.

Основные задачи исследований – разработка дополнительных мероприятий по изоляции приконтурного массива и разукрепленной зоны для повышения надежности всей защитной системы подземного хранилища.

Основные задачи технологических мероприятий – изоляция приконтурной зоны, шва между дамбой и породным массивом, пересечения капиллярных токов грунтовых вод в приконтурном массиве.

В Институте горного дела и специального подземного строительства проводились исследования возможности применения для создания подземных хранилищ в калийных солях следующих материалов: бетон и инъекционные средства на магнезиальном вяжущем; инъекционные материалы на основе двух компонентных битумов; полимерные инъекционные средства и покрытия.

Исследования бетона на магнезиальном вяжущем. Для создания долговременностабильных дамб в хранилищах, построенных в масссиве калийных солей, был необходим материал, обладающий достаточной водонепроницаемостью и устойчивый к воздействию насыщенных соляных растворов (сульфатов и хлоридов). Традиционный бетон не соответствовал этим требованиям, так как при воздействии на него агресивных растворов происходило интенственное вымывание CaO, т.е. происходила интенсивная коррозия. Тогда был опробован бетон на основе магнезиального вяжущего. В ходе экспериментов были установлены пропорции компонентов смеси бетона на магнезиальном вяжущем, наиболее пригодном для использования в данных условиях. По сравнению с традиционным бетоном он обладает рядом приемуществ: химическая устойчивость к воздействиям сульфидов и хлоридов; отсутствие усадки при отвердевании (расширяется при отвердевании); прочность класса B80.

К недостаткам можно отнести только резкое образование тепла при затвердевании. Количество тепла сравнимо с теплом, выделяемым при затвердевании обычного бетона, при затвердевании магнезиального бетона тепло выделяется очень интенсивно в короткий период времени. Это связано с тем, что при затвердевании мегнезиального вяжущего происходит не реакция гидратации (как в случае с цементом), а реакция кристализации оксихлорид-оксисульфатов-гидратов магния.

Ведутся разработки технологии сооружения бетонных дамб, которая бы позволила снизить воздействие резкого теплообразования при затвердевании.

Были опробованы инъекции магнезиального вяжущего для уплотнения шва между дамбой и породой. Однако инъекционные составы на основе магнезиального вяжущего не подтвердили свою эффективность при испытаниях. Так как трещины очень малы (до 30 мкм), то для проведения инъекций цементного раствора был проведен домол до гранулометрического состава 10 мкм. Для экспериментов были подготовлены смеси с различной вязкостью. Эксперименты, проведенные на модели трещины, в лабораторных условиях показали очень хорошие результаты. Но испытания в руднике оказались малоуспешными, так как при соприкосновении суспензии с областями тахидрида из-за его химической активности присходило изменение ширины трещины одновременно с затвердеванием, что влекло за собой нестабильность соединения.

Применение инъекционных составов на основе битумов. В качестве долговременностабильного средства для изоляции пор и трещин малого раскрытия было предложено применять битумы. С точки зрения долговременной стабильности они прекрасно подходят для данных целей, так как являются природным материалом. В то же время ставилась под сомнение возможность бутумов сохранять свою первоначальную форму (так называемая реологическая вязкость). Следующей проблемой была технология изоляции с помощью битумов, так как обычные битумы находятся в жидкотекучем состоянии только при температуре свыше 160 °C, что недопустимо для применения в карналитите, так как при этой температуре он распадается с выделением едких паров HCl. С другой стороны, применение раство-

рителей было недопустимо, так как последующее испарение летучих соединений повлекло бы значительную усадку заинъектированного материала.

Разработанный в ходе исследований материал представляет собой инъекционный материал на базе битумов, который при температуре окружающей среды может быть без добавки растворителей инъицирован в породный массив с раскрытием трещин до 0,1 мм. Материал состоит из двух компонентов: специально домолотый твердый битум и деароматизированный углеворород. Оба компонента смешиваются непостредственно перед инъицированием. Данный материал после затвердевания образует резиноподобную массу, которая обладает большой прочностью на сдвиг и сохраняет полученную форму (не становится текучей при долговременном хранении).

Исследования возможности применения полимерных составов. В настоящее время в строительстве широко применяются полимерные материалы. К их преимуществам можно отнести устойчивость к внешним воздействиям (химическим и механическим), возможность сильно варьировать их свойства и сравнительно невысокая стоимость. Недостатком является то, что их применяют только последние 50 лет, так что точно предсказать изменения с течением времени не представляется возможным. Тем не менее существует достаточная научная база, позволяющая оценить срок службы полимерных материалов в определенных условиях.

Условия хранилища являются достаточно благоприятными для полимерных материалов. Основными разрушающими факторами для полимеров являются ультрафиолетовые, ионизирующие излучения, а также резкие перепады температур. В наших условиях все данные факторы отсутствуют. Из вредных воздействий присутствует только химическое воздействие концентрированных растворов солей. При этом изменение свойств материала во времени происходит только под воздействием диффузии молекул агрессивных растворов в полимер. Скорость диффузии при определенной температуре можно найти методом ускоренных климатических испытаний.

Таким образом, можно подобрать такую толщину защитного слоя полимерного материала, которая бы обеспечила надежность защитного сооружения в течение 100-150 лет.

В данной работе было решено проверить возможность изоляции приконтурной области породного массива тремя способами:

- нагнетание низковязких полимерных составов в массив соляных пород для изоляции разупрочненной зоны до сооружения бетонных защитных сооружений;
- отсечение капиллярного тока жидкости в массиве с использованием искусственных щелей;
- изоляция стыка контура выработки и бетонной дамбы, а также разупрочненной зоны нагнетанием полимерных составов.

Возможность нагнетания полимеров в разукрепленный массив пород (в трещины раскрытием 0,01-0,1 мм и поры) традиционными способами в ходе экспериментов не подтвердилась. Как уже говорилось, трещины в разукрепленной зоне соляных пород нельзя рассматривать как макротрещины, так как массив соляных пород представляет из себя плотное тело с большим скоплением микротрещин раскрытием 0,01-0,1 мм. Процессы фильтрации происходят в разукрепленных соляных породах как в пористом теле. Проницаемость разукрепленных соляных пород составляет 10^{-14}-10^{-16} м^2. Нагнетание даже низковязких полимерных составов (динамическая вязкость 40-70 МПа·с) в данный массив невозможно, так как процессы фильтрации инъекционного материала при данной проницаемости массива происходят очень медленно. Поэтому невозможно создать упрочненный слой породы достаточной мощности. При повышении давления происходит гидроразрыв пород либо отрыв приконтурной части породного массива от остальной части массива.

Прерывание капиллярных токов путем создания искусственных щелей было решено произвести с помощью пропила, созданного цепной или дисковой пилой, с последующим заполнением полости полимерным

составом. Из исследованных составов наиболее подходящими были признаны двухкомпонентные эпоксидные и полиуретановые смолы. Для усиления водоостанавливающей способности сооружения решено использовать кольцо из твердого материала, установленное в пропил до заполнения его полимером. В качестве материала для изготовления кольца рассматриваются несколько возможных вариантов: полипропиллен, фторопласт (политетрафторэтилен), титан, монель. Этот метод планируется применять совместно с заполнением шва между массивом и дамбой.

В данное время исследуются возможности защиты породного массива от выветривания до возведения защитных сооружений. Исследуются возможности теплового воздействия на массив, влияние температурно-влажностных параметров воздуха на скорость процесса выветривания, а также использование различных покрытий.