

Отчет о современном состоянии дел в области захоронения радиоактивных отходов

Практика подтверждает возможность безопасного хранения и захоронения различных типов отходов

Альф Ларссон

Учитывая значительные объемы работ, необходимые для создания подземных хранилищ радиоактивных отходов, в этой области было развернуто широкомасштабное международное сотрудничество. МАГАТЭ также вносит значительный вклад в эти усилия. Агентство опубликовало целый ряд отчетов, охватывающих различные аспекты захоронения радиоактивных отходов. Выполняя рекомендации своего Технического комитета по подземному захоронению радиоактивных отходов (TRCUD), Агентство собирается опубликовать отчет о „современном состоянии дел“ в области захоронения радиоактивных отходов. Отчет пока еще находится на подготовительной стадии. В данной статье обсуждаются основные аспекты будущего отчета.

Радиоактивные отходы и ядерный топливный цикл

В ядерном топливном цикле радиоактивные отходы производятся при добыче и обогащении урановой руды, в процессе изотопного обогащения, изготовления топлива, эксплуатации ядерных реакторов, переработки отработавшего топлива и в результате снятия ядерных установок с эксплуатации. Безопасное обращение и захоронение радиоактивных отходов имеет первоочередное значение для государств, реализующих ядерно-энергетические программы. Кроме того, аналогичные проблемы, хотя и в меньшей степени, стоят и перед другими странами, использующими радиоактивные материалы в госпиталях и исследовательских организациях.

Г-н Ларссон — бывший руководитель Отдела ядерных отходов Шведского ядерно-энергетического института в Стокгольме, а также бывший председатель Технического комитета МАГАТЭ по подземному захоронению радиоактивных отходов. Работа данного комитета осуществляется под эгидой Международной консультативной группы по обращению с радиоактивными отходами, образованной в 1989 г. в целях оказания помощи в руководстве по всем аспектам работы Агентства в этой области.

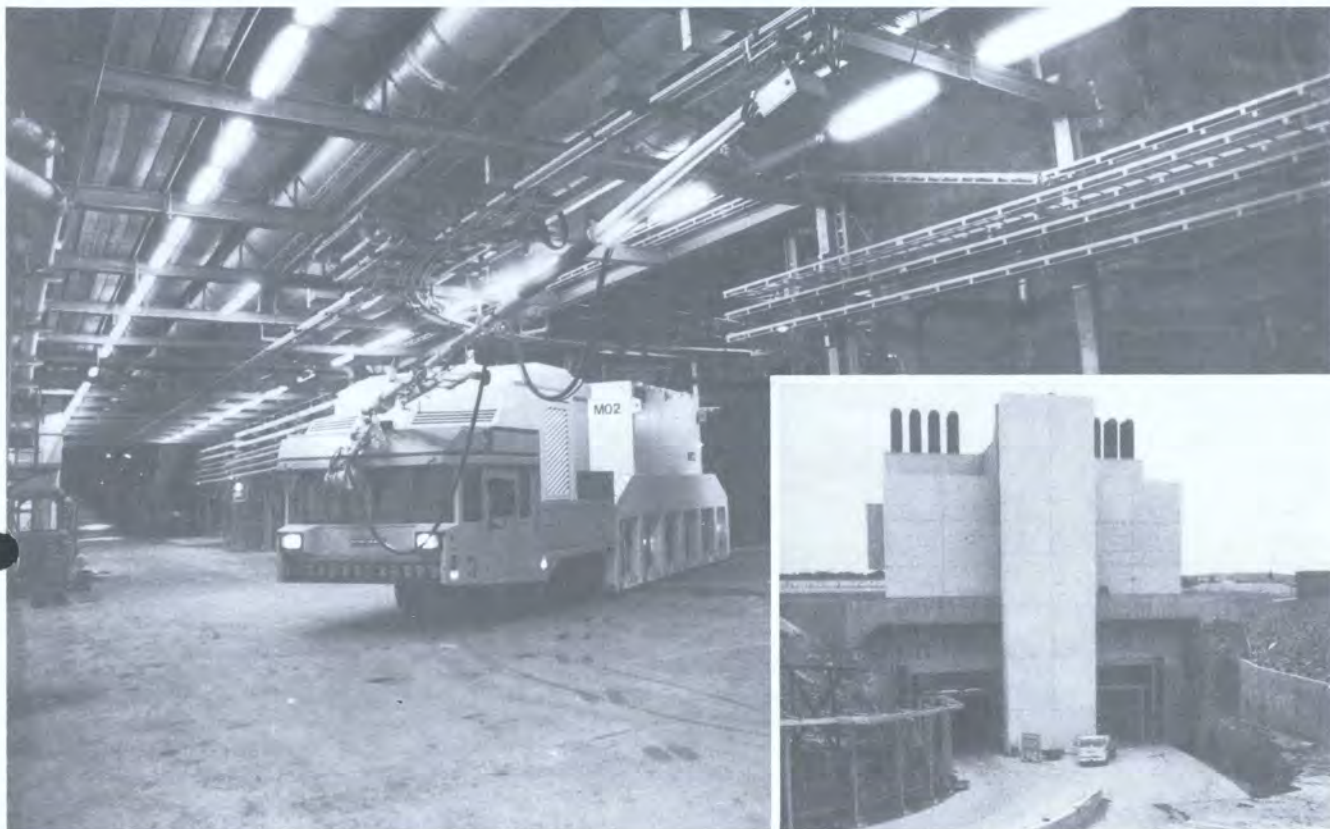
В области захоронения радиоактивных материалов было предложено несколько альтернатив. Если исключить наиболее экзотические предложения, которые на данном этапе научно-технического развития, по-видимому, технически неосуществимы, например, отправка отходов на солнце или в космическое пространство или использование процессов трансмутации в высокопоточных реакторах, существуют два основных принципа обращения с радиоактивными отходами: диспергирование и удержание.

Диспергирование означает выход радионуклидов в окружающую среду, за которым, как правило, осуществляется контроль во избежание какого-либо вредного воздействия на людей и природу.

Удержание подразумевает изоляцию радионуклидов от среды обитания человека и предупреждение их выброса в окружающую среду в неприемлемых количествах или концентрациях.

В соответствии с принципами и рекомендациями Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) к диспергированию можно прибегать лишь в отношении ограниченных объемов радиоактивных отходов с низкой концентрацией радионуклидов. В настоящее время осуществляется сброс в реки и моря жидких отходов очень низкой активности, получаемых на установках по обработке отходов ядерных реакторов и заводах по переработке отработавшего топлива. В течение многих лет принцип диспергирования применялся в отношении низкоактивных твердых отходов, сбрасываемых в море. Однако в настоящее время, учитывая широкую общественную оппозицию, от этой практики пришлось отказаться, по крайней мере, временно.

В отношении основных объемов радиоактивных отходов необходимо применять принцип удержания радиоактивных материалов в течение периодов времени, продолжительность которых зависит от характеристик отходов и, прежде всего, от их ядерного состава. Отходы, содержащие короткоживущие радионуклиды, подлежат удержанию в течение относительно короткого периода времени — до нескольких сот лет, в то время как для удержания



Подземное хранилище отходов низкой и средней активности в Швеции в районе АЭС Форсмарк. Подземное хранилище, построенное в отработанной горной выработке, было пущено в эксплуатацию в 1988 г. (Предоставлено: SKB)

долгоживущих радионуклидов может потребоваться несколько десятков тысяч лет или даже более длительный период. Сейчас растет понимание того, что после длительных периодов времени, например, нескольких миллионов лет, может произойти диспергирование или выброс удерживаемых радионуклидов. Однако уровень их радиоактивности упадет к этому времени до очень низких значений и будет ниже действующих международных норм радиационного воздействия.

Основной принцип безопасности, соблюдаемый в процессе удержания радиоактивных отходов, заключается в создании „глубокой обороны“. Данный принцип обычно подразумевает использование нескольких, как правило, независимых друг от друга „барьеров“ для замедления или предупреждения миграции радионуклидов из отходов или подземного хранилища в окружающую среду. В случае захоронения радиоактивных отходов в глубоких геологических формациях к числу естественных барьеров относятся окружающая первичная порода и геологические формации. Инженерный барьер – это сооружение, создаваемое и изменяемое человеком; он может являться частью упаковки отходов или подземного хранилища.

Подземные хранилища радиоактивных отходов можно в целом классифицировать на три основные группы: приповерхностные хранилища, хранилища,

расположенные на средней глубине, и хранилища в глубоких геологических формациях. Значительный опыт накоплен в области захоронения низкоактивных отходов в приповерхностных хранилищах. В более ограниченных масштабах осуществляется захоронение на промежуточной глубине, и практически отсутствуют действующие подземные хранилища, расположенные в глубоких геологических формациях.

Создание подземных хранилищ высокоактивных отходов и отработавшего топлива за некоторыми исключениями находится на стадии исследований и планирования. Для разработки соответствующей методологии выбора площадки и практического ее выбора для конкретного типа отходов необходимо проделать значительный объем работ. Во многих государствах были развернуты широкомасштабные программы научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области высокоактивных отходов.

Естественные барьеры

Естественные барьеры, обеспечиваемые окружающей первичной породой, являются главным доводом в пользу захоронения радиоактивных отходов в глубоких геологических формациях. Такой барьер представляет собой структуру, замедляющую или

препятствующую миграции радионуклидов из отходов и/или подземного хранилища в окружающую среду.

При оценке эффективности естественных, а также инженерных барьеров необходимо учитывать такие аспекты, как физическая изоляция, гидрогеология и геохимия. Более того, в оценку обязательно должно быть включено поведение радионуклидов в биосфере, например, разбавление и диспергирование в почве, приповерхностных водоносных горизонтах и поверхностных водах, атмосфере и пищевых цепочках.

Размещение отходов под землей позволяет использовать верхний слой породы в качестве физического барьера, предупреждающего инвазию, которая может привести к выбросу радионуклидов в окружающую среду, например, преднамеренное или случайное проникновение человека, пожары, падение самолета, наводнения и ураганы. Кроме того, подземные конструкции подвергаются меньшему воздействию и разрушению в результате землетрясений, а окружающая порода выступает в роли радиационного экрана и приемника радиогенного тепла.

В целом эффективность изоляции радиоактивных отходов, а также пригодность гидрогеологических и геохимических режимов возрастают с увеличением глубины размещения отходов. Однако к этому вопросу следует подходить сбалансированно, учитывая ограничения, связанные с температурами, технической осуществимостью, эксплуатационной безопасностью и расходами. Критерии выбора определенной глубины для размещения подземного хранилища в значительной степени зависят от типа отходов, концепции захоронения и окружающей первичной породы. Это значит, что такие критерии должны устанавливаться отдельно для каждой конкретной площадки.

Наиболее высокий риск нарушения изоляции в результате природных явлений, например, бурь и землетрясений, присущ приповерхностным подземным хранилищам. Очень часто изоляция таких хранилищ зависит только от инженерных барьеров, а не от геосферы. Под этим подразумевается, что в случае выхода из строя инженерных барьеров произойдет выброс радионуклидов непосредственно в биосферу. Для отходов, содержащих короткоживущие радионуклиды, такая ситуация может быть полностью приемлемой, чего нельзя сказать об отходах, содержащих долгоживущие радионуклиды.

Гидрология. Наиболее вероятный механизм выброса радионуклидов из подземного хранилища связан с проникновением в него подземных вод. Таким образом, для подземных хранилищ, расположенных в глубоких геологических формациях, ключевое значение имеют гидрологические характеристики окружающей первичной породы. Основными параметрами, определяющими гидрологию, являются потоки вод, их скорости и направления. Они зависят от регионального гидравлического уклона и характеристик окружающей первичной породы и геологических формаций, таких, например, как пористость и проницаемость. Знание гидрологических характеристик необходимо для разработки математической модели системы.

Сухопородные месторождения соли и ангидрита рассматриваются как возможные места разме-

щения подземных хранилищ высокоактивных отходов. Несмотря на то, что в любой породе содержится некоторое количество воды, в таких породах, как соль и ангидрит, отсутствуют явные соединения между собой и заполненные водой поры, способные образовать путь для переноса растворенных радионуклидов. Однако механические разрушения, возникающие во время строительства подземного хранилища, или радиогенные тепловые поля могут обусловить некоторую миграцию жидких включений. В сценарии обычной эволюции никаких выбросов радионуклидов из подземного хранилища не произойдет, если будет сохранена целостность окружающей породы. Установка WIPP в США является примером размещения подземного хранилища в слоистом месторождении соли. Установка Горлебен в Федеративной Республике Германии служит иллюстрацией процесса выбора площадки для строительства подземного хранилища в соляном куполе.

В районах с засушливым климатом некоторые площадки для приповерхностного захоронения отходов, а также их захоронения в глубоких геологических формациях могут располагаться над водным зеркалом. Таким образом, окружающая порода будет ненасыщенной, а соединяющиеся между собой поры в такой породе не будут полностью заполнены водой. Степень насыщенности зависит от типа системы и подвержена сезонным изменениям. Сухость и очень низкие скорости тока воды, часто присущие таким породам, делают их привлекательными кандидатами для размещения подземных хранилищ радиоактивных отходов. Любые переносы воды будут происходить через систему микропор, которая обладает огромным потенциалом для замедления переноса радионуклидов благодаря процессам сорбции и которая, кроме того, может выступать в роли фильтра коллоидных частиц. Гора Юкка на Невадском испытательном полигоне в Соединенных Штатах является примером площадки для размещения подземного хранилища в ненасыщенной зоне. Порода там представляет собой вулканический туф.

В настоящее время основные усилия в мире сфокусированы на захоронении отходов в насыщенных породах, т.к. такие породы широко распространены в большинстве государств, имеющих ядерно-энергетические программы. Очень часто насыщенные породы классифицируют на пористые и трещиноватые.

В идеале в пористых породах должны отсутствовать крупные структурные разрывы; потоки воды (или диффузия нуклидов в случае очень незначительных потоков) носят однородный характер во всей основной массе породы. Скорость тока воды в таких породах должна быть весьма низкой, а во всей материнской породе должна происходить сорбция. На практике пористую породу окружают пласты, обладающие совершенно иными характеристиками, что весьма усложняет гидрологию.

Во многих породах потоки воды возникают, главным образом, в четко выраженных, изолированных элементах, которые обычно классифицируются как „трещины“. К их числу относится широкий спектр геологических разрывов. Основные гидрологические свойства таких пород, например, гранитов и глин, могут быть вполне привлекательными, т.к. потоки воды и их скорость в таких породах очень

низкие. Однако классификация их гидрологических свойств связана с решением многочисленных проблем.

В некоторых странах, например, Канаде, Швейцарии и Швеции, развернуты крупные программы опытно-конструкторских работ по созданию подземных хранилищ высокоактивных отходов в глубоких геологических формациях, которые включают в себя исследования на площадке и проведение подземных лабораторных испытаний. Шведское подземное хранилище SFR для отходов низкой и средней активности служит примером действующей установки в насыщенной породе.

Геохимия. Геохимические свойства окружающей первичной породы дают возможность использовать ее в качестве естественного барьера, замедляющего или предупреждающего разрушение инженерных барьеров, а в случае полного нарушения функций удержания подземного хранилища они будут ограничивать скорость миграции и переноса радионуклидов. Кроме того, свойства конкретной геохимической системы зависят от типа отходов и конструкции подземного хранилища.

Выбор площадки. Выбор и классификация площадки для захоронения радиоактивных отходов состоят из нескольких этапов. Как правило, для идентификации подходящих общих районов, соответствующих критериям строительства подземных хранилищ, проводятся геологические изыскания. Затем отбираются несколько участков, в отношении которых проводятся более тщательные исследования. Необходимо проводить полевые изыскания, а в случае строительства подземного хранилища требуется пробурить разведочные скважины. Важное значение при проведении такой классификации играет моделирование гидрологического режима.

Размещение подземного хранилища вдали от вулканических районов и пород дает совершенно очевидные преимущества, в то время как ситуация, связанная с крупными разломами, остается неясной. Конечно, предпочтительней, чтобы крупный разлом не проникал в подземное хранилище, т.к. он является потенциальным путем переноса радионуклидов, но в то же время разлом представляет собой слабое место, вдоль которого в ответ на нарастание тектонического напряжения возникает движение, в результате чего уменьшаются возможности образования новых трещин в районе расположения подземного хранилища. Более того, крупные разломы, окружающие подземные хранилища, как правило, изолируют его от потоков подземных вод. Примеры таких доводов можно найти в шведском исследовании, связанном со строительством установки KBS-3*.

Для всех типов подземных хранилищ, особенно для приповерхностных, необходимо тщательно учитывать сценарии проникновения в них человека. Выбор площадки вдали от месторождений полезных ископаемых может максимально уменьшить такой риск.

Прогноз эволюции такой системы захоронения во времени является ключевой проблемой, охватыва-

ющей как геосферу, так и биосферу. Что касается физической изоляции, то обычно наибольший интерес представляет процесс эрозии. Эрозия по существу зависит от тектонических процессов и климата, которые воздействуют на гидрологию и, следовательно, на геохимию.

Инженерные барьеры

Инженерный барьер можно определить как элемент, создаваемый или усовершенствуемый человеком; он может быть частью упаковки отходов и/или подземного хранилища. Инженерные конструкции выполняют в подземном хранилище целый ряд функций, значение которых может меняться в зависимости от типа отходов и концепций подземного хранилища.

Основная роль матрицы отходов заключается в ограничении и удержании скорости выхода содержащихся в них радионуклидов на уровне, определяемом ее медленным разрушением. Если матрица должна оставаться стабильной в течение очень длительных периодов времени, то для оказания поддержки более эмпирическим подходам к моделированию необходимо понимание механики ее деградации. Что касается высокоактивных отходов, то роль матрицы подлежащего захоронению отра-



Во Франции хранилище радиоактивных отходов на побережье Ла Манша включает в себя целый ряд сложных инженерных барьеров, препятствующих контакту радиоактивных отходов с подземными водами. (Предоставлено: ANDRA)

* Final Storage of Spent Nuclear Fuel – KBS-3, 4 vols, Swedish Nuclear Supply Co. SKBF/KBS Sweden (1983).

ботавшего топлива, как правило, выполняет сама двуокись урана; для отходов, получаемых в процессе переработки отработавшего топлива, матрицей обычно является боросиликатное стекло, хотя в дополнение к этому изучается целый ряд других форм кондиционирования отходов и использования в этих целях, например, керамики и материала Synroc. В качестве матрицы отходов средней активности очень часто используют цемент и битум. В случае низкоактивных отходов матрица, как правило, не требуется.

Контейнер является средством полной изоляции матрицы отходов в течение определенного периода времени. Необходимое время сохранения целостности контейнера зависит от типа отходов, характеристик площадки и законов, действующих в конкретной стране. В Соединенных Штатах, например, требуемое минимальное время изоляции высокоактивных отходов составляет 1000 лет. В соответствии с результатами шведского исследования KBS-3 время изоляции медной бочки-контейнера равно одному миллиону лет. В отношении отходов низкой и средней активности предъявляются менее жесткие требования. В этом случае контейнер в основном используется для предупреждения радиоактивного загрязнения и облегчения процесса обращения с отходами. Кроме того, во время его установки в хранилище контейнер выступает в роли радиационного экрана. Контейнеры, предназначенные для высокоактивных отходов, как правило, изготавливаются из металла, что обусловлено требованиями, предъявляемыми к его механической прочности. Для отходов низкой и средней активности обычно используются стандартные металлические бочки, хотя для последней категории отходов используются также и бетонные контейнеры.

Цель создания барьера на пути потока воды в основном заключается в том, чтобы направить его вокруг подземного хранилища, а не через его территорию. Это происходит в тех случаях, когда ближняя зона окружающей породы обладает более низкой проницаемостью, чем остальная ее часть. На практике этого можно добиться путем использования специальных заполнителей, обладающих низкой проницаемостью, например, бентонит и специальные цементы. Во многих случаях барьер на пути потока воды будет также выполнять дополнительную функцию замедления переноса радионуклидов, выщелачиваемых из матрицы отходов, выступая в роли сложной геохимической среды.

В случае теплоизлучающих радиоактивных отходов важно сконструировать инженерные барьеры таким образом, чтобы температура в подземном хранилище или окружающей его среды не достигала недопустимо высоких уровней.

Одним из факторов, вышедших на передний план за последние несколько лет, является потенциальное значение процесса газообразования в подземном хранилище и его влияние на рабочие характеристики инженерных барьеров.

В силу того, что полная система инженерных барьеров состоит из целого ряда компонентов, часть из которых выполняет одновременно несколько функций, необходимо проводить оценку взаимодействия различных барьеров. Что касается подземных хранилищ в глубоких геологических формациях, то особую озабоченность вызывают поверх-

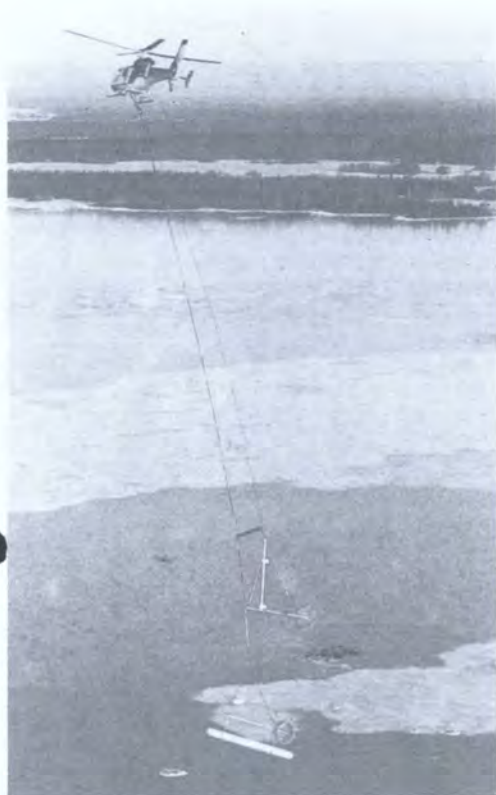
ности раздела, в частности между инженерными конструкциями и окружающей средой, и использование заполняющих и герметизирующих материалов, т.к. для окончательного закрытия подземного хранилища необходимо заполнить и герметизировать целый ряд различных проходов, включающих в себя туннели, шахтные стволы и буровые скважины.

Концепции конструкции подземного хранилища

Значительный опыт накоплен в области приповерхностного захоронения низкоактивных отходов. В эксплуатации находится большое число установок такого типа, например, в Великобритании, Канаде, Соединенных Штатах и Франции; технология приповерхностного захоронения отходов хорошо отработана. Существующие установки имеют различную конструкцию, зависящую от местных условий, например, от типа упаковок отходов и характеристик площадки. Иногда для предотвращения контакта с подземными водами используются сложные инженерные установки, примером чему служит площадка для захоронения отходов на побережье Ла Манша (La Ar). В других случаях, например, в Соединенных Штатах, площадки выбираются в районах с засушливым климатом, что позволяет использовать простые траншеи и методы заполнения. В настоящее время имеется тенденция к строительству более тщательно сконструированных установок, чем это было раньше. Кроме того, органы, выдающие лицензии, как правило, требуют проведения и утверждения тщательного анализа безопасности до выдачи разрешения на строительство и пуска в эксплуатацию любого приповерхностного хранилища.

До настоящего времени приповерхностное захоронение отходов являлось доминирующей практикой захоронения низкоактивных отходов. Сейчас данная технология включает в себя несколько альтернативных вариантов, например, строительство обвалованных бетонных бункеров, подземных хранилищ и использование отработанных горных выработок. Примером размещения подземного хранилища для отходов низкой и средней активности в отработанной горной выработке служит шведская установка SFR, пущенная в эксплуатацию в 1988 г. Другим примером является установка Конрад в Федеративной Республике Германии, строительство которой почти полностью завершено, однако на ее пуск пока еще не было дано разрешения. Установка Конрад размещается в сухом заброшенном железном руднике.

Общепринято, что необходимой длительной изоляции отходов, содержащих большие количества долгоживущих радионуклидов, можно добиться с помощью подземных хранилищ, расположенных в глубоких геологических формациях. В ряде стран развернуты программы создания систем захоронения высокоактивных отходов в глубоких геологических формациях. В рамках этих программ были разработаны концепции конструкций таких хранилищ. Несмотря на то, что конструкции подобных хранилищ должны отвечать и отвечают конкретным условиям площадки и окружающей среды, все они основываются на концепции использования многочисленных естественных и инженерных барьеров,



В Финляндии в области захоронения радиоактивных отходов ведутся интенсивные научно-исследовательские работы. В рамках исследований площадки была проведена ее аэрогеофизическая съемка. Для изучения потоков подземных вод используются компьютерные программы. Кроме того, в реку на 5 лет были помещены полномасштабные бетонные контейнеры для радиоактивных отходов с целью изучения их свойств. (Предоставлено: YJT, Финляндия)

обеспечивающих необходимый уровень удержания и изоляции.

Хотя в настоящее время еще нет действующих подземных хранилищ высокоактивных отходов, т.к. на эксплуатацию установки WIPP в Соединенных Штатах пока не было дано разрешения, многие государства уже имеют перспективные планы в этой области. Примером этому могут служить исследования, связанные со строительством установки Горлебен в ФРГ, а также технические решения, используемые в шведском исследовании KBS-3 и швейцарском проекте Гевер*.

* "Site investigations and conceptual designs for the repository in the nuclear 'Entsorgungszentrum' of the FRG," Röthemeyer, H., IAEA-SM-243, Vol. 1 (1980) 297-30. Also, *Project Gewähr*, 8 vols, NAGRA NGB-89-09, NAGRA, Baden, Switzerland (1985).

Оценка рабочих характеристик системы захоронения

Одной из наиболее важных областей научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, связанных с обращением с радиоактивными отходами, является анализ воздействия на окружающую среду и оценка рабочих характеристик систем захоронения радиоактивных отходов. Существуют различные подходы к выполнению этих задач, однако все они имеют одну общую цель – получение относящейся к данному вопросу информации с помощью полевых и лабораторных исследований, направленных на оценку рабочих характеристик хранилища на основе критериев безопасности и приемлемости. Данные критерии разрабатываются и усовершенствуются соответствующими национальными и международными органами.

Непосредственная демонстрация долгосрочной эксплуатации хранилища отходов признана невоз-

можно, т.к. нам приходится иметь дело с периодами времени, равными тысячам, а иногда и десяткам тысяч лет. Мы вынуждены прибегать к косвенным методам, используя прогнозный анализ, основанный на глубоком знании конструкции хранилища и воздействующих на него процессов.

Многие государства предпринимают значительные усилия для разработки методов оценки рабочих характеристик подземных хранилищ и их поведения в длительной перспективе. Для проведения анализа безопасности подземных хранилищ радиоактивных отходов необходимо разработать модели, с помощью которых можно описать поведение реальных систем захоронения отходов и количественно выразить происходящие в них процессы. Для достижения соответствующей точности анализов, необходимых для такого прогноза, очень важно добиться четкого понимания всех участвующих в этом процессах, полностью классифицировать моделируемую систему и создать полную базу данных.

Что касается анализа биосферных процессов, то известные механизмы переноса радионуклидов в биосфере в течение относительно коротких промежутков времени изучены достаточно хорошо. Основные проблемы, однако, связаны с оценкой эволюции биосферы в отдаленном будущем и возможными изменениями в рационе человека и его образе жизни.

В целом, методы анализа безопасности можно разбить на две большие группы: вероятностный и детерминистический анализы. Существует определенная степень вероятности возникновения какого-либо события в определенный период времени или уверенность в неизбежности такого события в течение того же периода времени. Очень важно понять, что вероятностный и детерминистический анализы являются дополняющими друг друга мето-

дами и что во всеобъемлющем анализе безопасности необходимо использовать как тот, так и другой метод.

Оценка безопасности проводится с целью демонстрации соответствия эксплуатационным целям, которые чаще всего выражаются в виде критериев приемлемости. Существуют два общих вида оценок: типовая оценка и оценка конкретной площадки; обычно оба вида этих оценок проводятся многократно, чтобы добиться полного понимания системы и сделать соответствующие выводы.

Типовые оценки оказывают большую помощь при принятии решений относительно конкретной концепции или выбора концепций. Кроме того, они помогают добиться признания властями и общественностью самой концепции захоронения отходов в геологических формациях. Оценки конкретных площадок являются составной частью процесса принятия решения о выборе площадки, строительстве, эксплуатации, закрытии и герметизации хранилища радиоактивных отходов.

Обычно для оценки рабочих характеристик хранилища создаются математические модели, отражающие физические и химические процессы, которые имеют большое значение для прогнозирования поведения подземного хранилища в течение длительного периода времени. И здесь возникает вопрос, насколько точно можно с помощью данной модели описать реальные события. Процесс сравнения результатов прогнозного анализа (моделирования) с полезными и лабораторными наблюдениями и измерениями обычно называют обоснованием модели. Тщательно подготовленные и правильно проведенные лабораторные и полевые эксперименты играют важную роль в обосновании модели. В целях такого обоснования можно также



В некоторых государствах на подземных установках ведутся научно-исследовательские работы в области захоронения радиоактивных отходов, например, установка Mol в Бельгии. (Предоставлено: UNIPED)

использовать естественные аналоги, например, анализ урановых рудных тел. Однако с точки зрения полного подтверждения поведения подземного хранилища в будущем добиться „полного обоснования модели“ невозможно. Целый ряд организаций проводит международные исследования в области анализа безопасности и оценки рабочих характеристик, например, Агентство по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития (АЯЭ/ОЭСР), Комиссия европейских сообществ (КЕС) и Шведский ядерно-энергетический инспекторат (INTRAVAL)*.

Институциональные аспекты

Захоронение радиоактивных отходов связано с целым рядом вопросов, которые должны решаться в процессе принятия аргументированных решений. В большинстве стран программы захоронения радиоактивных отходов регулируются с помощью процесса лицензирования, который находится в ведении государственных органов, занимающихся анализом, аттестацией и контролем за выполнением всех этапов реализации программы захоронения отходов. Регулирующий орган может представлять собой отдельную национальную организацию или систему организаций, назначаемых правительством. Ключевую роль в таком процессе регулирования играет комплекс процедур, которые должны выполнять реализующая данную программу захоронения организация, а также контроль со стороны регулирующего органа и участие других ведомств.

В некоторых государствах, например, в Соединенных Штатах, правительство может выполнять функции регулирующей и реализующей проект организации. Однако в таких странах функции регулирования и функции реализации проекта захоронения радиоактивных отходов, как правило, четко разделены.

В некоторых государствах, развивающих ядерную энергетику, таких как, например, Соединенные Штаты, Финляндия и Швеция, электроэнергетические компании обязаны выделять деньги на финансирование захоронения радиоактивных отходов. Обычно эти суммы зависят от количества произведенных киловатт-часов электроэнергии. Собранные средства, как правило, используются на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области захоронения радиоактивных отходов, и их вполне достаточно для строительства и эксплуатации необходимых установок-хранилищ. В некоторых странах, например, в Швеции, эти фонды должны также тратиться на снятие ядерных установок с эксплуатации и захоронение произведенных в результате этого отходов.

Очевидно, что со временем становится все сложнее добиваться признания ядерной энергии общественностью, включая хранилища радиоактивных отходов. Ключевую роль здесь, по-видимому, играет информация. Пути информирования общественности по вопросам безопасности в ядерной области являются в настоящее время вопросом,

которому уделяют значительное внимание производители ядерной энергии, политики и органы, ведающие вопросами безопасности. МАГАТЭ уделяет этой проблеме очень много времени и провело несколько симпозиумов, охватывающих аспекты признания общественностью. Одна из трудностей заключается в том, что решения, приемлемые для одной страны, очень редко можно непосредственно применять в других странах.

Со временем в области обращения с радиоактивными отходами наладилось широкомасштабное международное сотрудничество. В нем принимают участие не только международные организации, такие как МАГАТЭ, АЯЭ/ОЭСР, КЕС, МКРЗ и Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП), но также целый ряд других организаций, реализующих это сотрудничество на основе двусторонних и многосторонних соглашений. Такое сотрудничество доказало свою чрезвычайную важность, а его результаты используются всеми организациями, связанными с захоронением радиоактивных отходов.

Заключительные замечания

Будущее развитие ядерной энергии зависит от наших возможностей осуществлять приемлемое безопасное обращение и захоронение радиоактивных отходов.

В настоящее время мы, очевидно, в состоянии отработать средства захоронения отходов низкой и средней активности. В отношении конкретных отдельных подземных хранилищ должны быть найдены соответствующие конкретные решения, однако здесь вряд ли возникнут какие-либо большие трудности, за исключением проблемы признания общественностью.

Немного иной представляется ситуация с высокоактивными отходами. Имеется соответствующая технология захоронения, однако методы оценки безопасности требуют дальнейшей доработки. И в данном случае эта проблема тесно связана с признанием общественностью. Это привело к тому, что органы, ведающие вопросами безопасности, стали требовать создания значительных баз данных и проведения тщательного анализа безопасности предлагаемого подземного хранилища.

Учитывая значительный объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, связанных с полевыми измерениями, например, в подземных лабораториях Канады, Швейцарии и Швеции, поддерживаемых лабораторными исследованиями в области химии и геохимии, а также теоретическими исследованиями в области математического моделирования, нет причин задерживать проектирование, строительство и эксплуатацию подземных хранилищ высокоактивных отходов. Совершенно очевидно, что в Европе до 2000 г. не будет действующих подземных хранилищ высокоактивных отходов. В Соединенных Штатах имеются планы создания к 2000 г. установки-хранилища таких отходов. Однако необходимо помнить, что раннее захоронение высокоактивных отходов не является технической или радиологической необходимостью: опыт показывает, что такие отходы можно безопасно хранить в инженерных наземных хранилищах.

* Оценка безопасности подземных хранилищ радиоактивных отходов, материалы симпозиума КЕС/МАГАТЭ/АЯЭ, Париж, Франция, 9—13 октября 1989 г. (будут опубликованы АЯЭ).