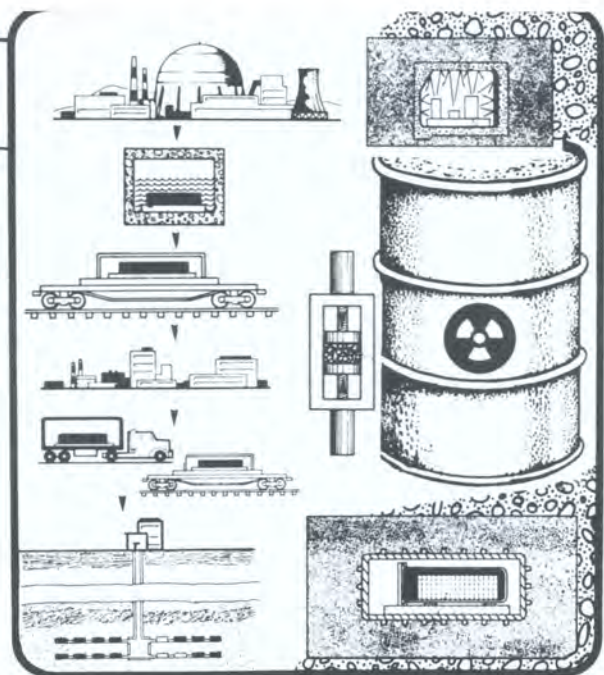




Группы проектировщиков в разных странах работают над программами безопасного и эффективного хранения и захоронения радиоактивных отходов. На фото группа управляющего персонала в Японии и шведские рабочие в планируемом хранилище в Форсмарке, Швеция. (Фото JGC, SKB).

Состояние дел в мире в области обращения с радиоактивными отходами



Несмотря на достигнутый прогресс, некоторые проблемы еще предстоит решить

Дональд Е. Сэйр

Сейчас, когда история использования атома на благо человечества насчитывает более сорока лет, можно считать, что технология атомной энергетики становится достаточно совершенной. Однако, как и в случае с другими технологиями, получение благ от использования энергии атома не обходится без проблем. Радиоактивные отходы образуются не только в результате эксплуатации АЭС или другой деятельности, связанной с топливным ядерным циклом, но и от применения радиоизотопов в медицине, промышленности и в научных исследованиях, а также и от другого вида деятельности, не связанной с ядерной энергией (например, производства фосфатов и добычи золота).

Итак, почти в каждом из 112 государств-членов МАГАТЭ образуются некоторые количества радиоактивных отходов, которые должны быть собраны, обработаны и захоронены безопасным образом. Эти операции должны быть проведены таким образом, чтобы обеспечить безопасность и защиту современного и будущих поколений от возможного облучения ионизирующим излучением.

Хотя реальные объемы отходов ядерной энергетики малы по сравнению с отходами других технологий или отраслей промышленности (например, тепловыми электростанциями, работающими на угле), главным фактором является длительный промежуток времени, в течение которого радиоактивные отходы могут создавать угрозу человеку и окружающей среде. По этой причине в настоящее время

уделяется большое внимание тому, чтобы проблемы, связанные с радиоактивными отходами, решались с учетом последствий в будущем. Для того, чтобы ядерная энергия, а точнее ядерная энергетика продолжала развиваться, чтобы человечество получило от нее максимально возможную отдачу, необходимо найти такое решение проблемы обращения с радиоактивными отходами, которое удовлетворило бы как ученых, так и население.

В этой статье дается краткий обзор деятельности, проводимой в государствах-членах МАГАТЭ по безопасному обращению с радиоактивными отходами, и обсуждаются важнейшие проблемы в этой области*.

Практическая деятельность государств-членов

В первые годы применения ядерной технологии обращение с радиоактивными отходами рассматривалось как проблема второстепенной важности, и уделялось мало внимания правильным методам обработки и кондиционирования отходов. По сравнению с другими элементами топливного цикла, в области исследований и разработок значительно меньше усилий было направлено на обращение с отходами. На практике применялись относительно простые методы. Низко- и среднеактивные отходы (НСАО) обычно захоранивались в приповерхностные слои земли после минимальной предварительной обработки и кондиционирования, некоторые страны приме-

Г-н Сэйр-старший — сотрудник Секции обращения с отходами Отдела топливного ядерного цикла МАГАТЭ. Взгляды, изложенные в этой статье, отражают его собственное мнение, не обязательно разделяющееся Агентством.

* Более исчерпывающий обзор на эту тему содержится в буклете МАГАТЭ Обращение с радиоактивными отходами: Доклад о состоянии дел (Август 1985), в настоящее время выпущенном только на английском языке.

Обращение с радиоактивными отходами

няли сброс отходов в море. Альфа-содержащие отходы (называемые также трансурановыми отходами, материалом, загрязненным плутонием или просто „альфа-отходами“) обычно хранились в ожидании будущей обработки. Высокоактивные жидкие отходы хранились в больших емкостях, изготовленных из углеродистой или нержавеющей стали и помещенных на уровне или немного ниже уровня земли. Усилившееся внимание в начале 70-х годов к радиологическим и экологическим аспектам использования ядерной энергии заставило многие страны уделять большее внимание вопросам обращения с радиоактивными отходами, и в этой области были начаты серьезные исследования. В первую очередь эти исследования были направлены на вопросы обработки и захоронения высокоактивных отходов, так как потоки этих отходов содержали значительную часть общей активности. Однако большие объемы низкоактивных жидких и твердых отходов, образующихся на АЭС и установках, не связанных топливным циклом, также потребовали быстрого расширения исследований.

Обзор текущего состояния дел в области переработки (уменьшение объема), кондиционирования (иммобилизация отходов) и захоронения НСАО показывает главные направления в этой области (см. таблицу, в которой представлена текущая или планируемая деятельность в нескольких странах).

Главное внимание уделяется обработке низкоактивных отходов с целью уменьшения их объемов, не только для облегчения дальнейшего обращения с ними и последующей переработки, но также для уменьшения пространства, требуемого для окончательного захоронения.

Для низкоактивных отходов были заимствованы из других отраслей промышленности классические инженерные методы (упаривание, ионный обмен и химическое осаждение), которые были модифицированы с учетом особенностей систем по обработке радиоактивных отходов. Эти процессы теперь используются во многих странах, они основаны на простой технологии, способной уменьшить объемы первичных отходов безопасным и экономичным образом в 10–100 раз.

В таблице показано также состояние дел в области обработки твердых НСАО. В настоящее время применяется прессование отходов и их сжигание, а в некоторых случаях и комбинация обоих методов, в зависимости от вида и объема твердых отходов, а также от метода захоронения, выбранного страной.

Коэффициент уменьшения объема отходов при прессовании составляет 5–10. Сжигание твердых горючих отходов обеспечивает даже более значительное сокращение объема (более 20), но его применение ограничено странами, в которых образуются большие количества таких отходов низкого уровня

Национальная деятельность: низко- и среднеактивные (короткоживущие) отходы

| Страна | Уменьшение объема | | Иммобилизация | | Практический опыт захоронения | |
|----------------|-------------------|---------|---------------|--------|-------------------------------|-----------------------|
| | Жидкие | Твердые | Цемент | Другие | Поверхность | Приповерхностные слои |
| Австрия | ■ | ■ | ■ | | | |
| Аргентина | | ■ | | | | |
| Бельгия | ■ | ■ | ■ | | ● | |
| Болгария | ■ | ■ | ■ | | ■ | |
| Великобритания | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Венгрия | ■ | ■ | ■ | | | |
| ГДР | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| Египет | ■ | ■ | ■ | | | |
| Индия | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| Испания | | ■ | ■ | | | |
| Италия | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| Канада | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Китай | | ■ | ■ | ■ | | |
| Нидерланды | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| Польша | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| Румыния | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| СССР | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| США | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Финляндия | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Франция | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| ФРГ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Чехословакия | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| Швейцария | | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Швеция | | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Югославия | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| ЮАР | | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Южная Корея | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Япония | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

■ — применяемые на практике
● — планируемые

Обращение с радиоактивными отходами

Национальная деятельность: альфа-содержащие и высокоактивные отходы

| Страна | Альфа-содержащие | | BAO | Захоронение альфа-содержащих/ BAO | |
|----------------|-------------------|---------------|---------------|--------------------------------------|---------------|
| | Уменьшение объема | Иммобилизация | Иммобилизация | временное | геологическое |
| Австрия | | | CPP | | |
| Аргентина | | | R&D | | |
| Бельгия | ■ | ■ | R&D | | ● |
| Великобритания | ● | ■ | HF(c) | | ● |
| Индия | ● | | HF(o) | | ● |
| Италия | ● | ■ | CPP | | ● |
| Канада | | | R&D | | |
| Китай | | | R&D | | |
| СССР | ■ | ■ | CPP | | ● |
| США | ■ | ● | HF(c) | | ● |
| Франция | ■ | ■ | HF(o) | | ● |
| ФРГ | ■ | ■ | HF(o) | | ● |
| Япония | ● | | HF(c) | ● | |

Пояснение:

- — текущая деятельность
- — планируемая деятельность
- R&D — исследования и разработки
- CPP — демонстрационная модельная установка
- HF(o) — действующая активная установка
- HF(c) — строящаяся активная установка

Источник: буклет МАГАТЭ *Обращение с радиоактивными отходами: Доклад о состоянии дел* (Август 1985)

активности. Во многих странах с крупными исследовательскими ядерными центрами и/или АЭС практикуется иммобилизация НСАО. Иммобилизации предшествует предварительная обработка жидких и твердых отходов с целью уменьшения их объема. Для иммобилизации много лет применялась хорошо отработанная технология цементирования, но теперь во многих странах уже используются или находятся в процессе активного изучения другие матрицы для включения отходов, как, например, битум и полимеры.

В результате любого иммобилизационного процесса получают матрицу с включенными в нее отходами и необходимыми свойствами для предотвращения преждевременного выноса радионуклидов в окружающую среду после захоронения отвержденных отходов в специально оборудованных хранилищах. Способ захоронения обработанных/иммобилизованных отходов НСАО в стране зависит от наличия подходящих земельных массивов, геологических формаций и гидрогеологической обстановки.

В первые годы развития ядерной энергетики сброс в море рассматривался как приемлемый способ захоронения отходов с допустимыми радиологическими последствиями. Вследствие протестов общественности, а также недостатков в реализации этого метода, от него на ближайшее будущее пришлось отказаться. Большинство государств-членов захоранивают НСАО в хранилищах, расположенных на поверхности земли или в приповерхностных слоях и оборудованных соответствующими инженерными барьерами. Геологическое захоронение в старых шахтах и инъекция (закачка) в глубинные слои

(разломы, созданные гидроразрывом) также применяются в нескольких странах (среди них, например, Германская Демократическая Республика, Федеративная Республика Германии и Соединенные Штаты Америки).

Стратегия удаления высокоактивных и альфа-содержащих отходов

Национальная стратегия в деле обращения с высокоактивными отходами обычно диктуется решением страны перерабатывать или хранить отработавшее топливо. До некоторой степени это относится и к альфа-содержащим отходам, хотя некоторые количества таких отходов могут возникать в результате исследовательской деятельности (см. таблицу, суммирующую современное состояние дел в области обращения с альфа-содержащими и высокоактивными отходами в нескольких странах).

Технология обработки альфа-содержащих отходов находится в стадии разработки или уже практически применяется во многих странах. Среди методов уменьшения объема отходов, применяемых на протяжении ряда лет, — растворение в кислотах, сжигание и пиролиз. Наибольшее распространение получило сжигание альфа-содержащих горючих отходов, и новые установки по сжиганию, специально предназначенные для альфа-содержащих отходов, уже действуют в Соединенных Штатах Америки и некоторых других странах.

Иммобилизация альфа-содержащих отходов осуществляется в основном путем включения их в

Обращение с радиоактивными отходами

Основные хранилища для высокоактивных отходов и отработавшего топлива

Ниже суммированы современные национальные программы нескольких государств—членов МАГАТЭ по строительству и эксплуатации установок для отверждения высокоактивных отходов (ВАО) и захоронения ВАО и/или отработавшего топлива. Большинство планируемых установок рассчитано на остекловывание ВАО и хранение отвержденных форм отходов.

| Страна | Установка | Состояние*, год | Страна | Установка | Состояние* год |
|---------------------------|---|---------------------------------|--|--|----------------|
| Аргентина | ● Хранилище для остекловывания ВАО | 1984** | ФРГ | ● Хранилище AFR отработавшего топлива (Горлебен) | 1984 |
| Бельгия | ● Хранилище для альфа-отходов | Середина 1990-х | Финляндия | ● Хранилище отходов (Горлебен) | 1995 |
| | ● Установка AVB для остекловывания хранящихся ВАО на заводе | Утверждение проекта не очевидно | | ● Хранилище ВАО или отработавшего топлива | 2020 |
| Великобритания | ● Установка остекловывания ВАО Уиндскейл в Селлафилде | 1988 | Франция | ● Установки остекловывания AVH (Ла Аг) | 1987/1989 |
| Индия | ● WIP — установка имобилизации отходов в Тарапуре для ВАО и других отходов от переработки топлива | 1983 | Швейцария | ● Хранилище AFR отработавшего топлива, остеклованных ВАО и других отходов от переработки топлива | 1992 |
| Испания | ● Хранилище отработавшего топлива | 2005/10 | Швеция | ● Геологическое хранилище для ВАО или отработавшего топлива | после 2020 |
| Канада | ● Хранилище отработавшего топлива | 2010 или позже | | ● Хранилище CLAB AFR отработавшего топлива и остеклованных ВАО | 1985 |
| Соединенные Штаты Америки | ● Установка остекловывания ВАО Уэст-Велли | 1988 | Япония | ● Хранилище ВАО/отработавшего топлива | 2020 |
| | ● Установка остекловывания ВАО Саванна Ривер | 1989 | | ● Установка остекловывания ВАО в Токаи | 1991 |
| | ● Первое хранилище ВАО или отработавшего топлива | 1998 | ● Хранилище остеклованных ВАО в Токаи | 1992 | |
| | ● WIPP (Демонстрационное хранилище для альфа-содержащих отходов от оборонной промышленности) | 1989 | ● Установка остекловывания ВАО от энергетических реакторов | 1997 | |
| | | | ● Хранилище остеклованных ВАО | 2020 | |

* Начало эксплуатации, если не указано иное.

** Полная характеристика площадки.

цемент или битум. Метод захоронения альфа-содержащих отходов зависит от уровня активности отходов и национальных регламентирующих правил по захоронению. Большинство стран применяют контролируемое временное хранение обработанных или кондиционированных альфа-содержащих отходов в инженерных сооружениях на или вблизи поверхности земли. В будущем ожидается, что альфа-содержащие отходы с уровнем активности выше той, при которой допускается захоронение на поверхности земли, будут захораниваться в глубоких геологических хранилищах, подобных строящемуся сейчас в США демонстрационному хранилищу отходов (WIPP).

Программа по обращению с высокоактивными отходами в странах, выбравших переработку топлива, базируется на имобилизации высокоактивных отходов путем превращения их в твердую монолит-

ную форму. В конце 70-х и начале 80-х годов проводилось большое количество исследований по выбору подходящих матриц для отверждения, среди которых были денитрированные кальцинаты, стекла и кристаллическая керамика.

В течение последних лет во многих странах признали стекло материалом, наилучшим образом сочетающим необходимые свойства форм отходов, легкость изготовления и длительный опыт проверки свойств материала. Исследования и разработки стеклоподобных форм отходов продолжают во многих странах, причем боросиликатное стекло признано в качестве международного стандарта.

Что касается технологической базы для осуществления имобилизации высокоактивных отходов путем включения их в боросиликатное стекло или другие матрицы, то в нескольких странах разраба-

тываются разные установки, начиная от модельных и вплоть до полномасштабных установок остекловывания (см. прилагаемую таблицу).

Кондиционирование отработавшего топлива

В то время как большинство стран, имеющих топливный ядерный цикл, планируют переработку отработавшего топлива, несколько стран, следующих курсу незамкнутого цикла, исследуют кондиционированное отработавшее топливо в качестве окончательной формы высокоактивных отходов. Последняя концепция изучается, по крайней мере, в шести государствах—членах Агентства—Канаде, Финляндии, Испании, Швеции, Швейцарии и США.

Учитывая такие обстоятельства, Агентство недавно расширило объем новой координационной исследовательской программы по оценке свойств отверженных форм высокоактивных отходов и инженерных барьеров в условиях хранилища за счет включения отработавшего топлива. Выбор кондиционированного отработавшего топлива в качестве окончательной формы высокоактивных отходов, без сомнения, будет привлекать больше внимания по мере того, как переработка топлива станет казаться менее рентабельной, а государства-члены будут сравнивать достоинства и недостатки дополнительных технических сложных этапов, необходимых для отверждения высокоактивных отходов.

Хотя остеклованные высокоактивные отходы и кондиционированное отработавшее топливо предназначаются для постоянного хранения в геологических хранилищах, в настоящее время для таких хранилищ рассматривается лишь несколько площадок. Однако уже развернулась деятельность по планированию и разработке таких площадок. Так как отвержденные высокоактивные отходы и отработавшее топливо можно безопасно хранить в наземных хранилищах в течение нескольких десятилетий, полагают, что постоянные подземные хранилища для таких отходов не понадобятся ранее первой половины XXI века.

Проблемы и нерешенные вопросы

При обсуждении состояния дел в области обращения с радиоактивными отходами нельзя не коснуться некоторых проблем и нерешенных вопросов, существующих в этой области. По различным поводам Агентство и другие национальные и международные учреждения заявляли, что не существует технологических барьеров, которые препятствуют человечеству безопасно обращаться с радиоактивными отходами, обеспечивая защиту настоящего и будущих поколений. В самом деле, одним из главных выводов Международной конференции по обращению с радиоактивными отходами, проведенной Агентством в мае 1983 г., был тот, что „адекватная технология существует и подходящие глубинные геологические формации могут быть выбраны” для

„изоляции радиоактивных отходов в течение длительного времени”*

Большинство специалистов согласны с этим заявлением, но все же существуют некоторые важные области, требующие дополнительных знаний и осторожных действий в национальных и международных организациях перед тем, как мы сможем перейти к заключительным этапам работы. Некоторые из этих вопросов, описанных ниже, требуют деятельности, не совсем обычной для технологов.

Правительственная политика и общественное мнение

Обращение с отходами, помимо того, что оно вызывает горячие дискуссии и интерес среди ученых, находится в центре внимания многих правительственных и местных органов. По мере развития технологии и во многих случаях демонстрации безопасного обращения с радиоактивными отходами в настоящем и будущем, планы по захоронению отходов во многих странах определяются не только техническими факторами, но и отношением общественности и местных правительств. Так как их позиция зависит от практической деятельности ядерной промышленности, международное ядерное сообщество должно разъяснять и эффективно планировать всю деятельность в области обращения с радиоактивными отходами на современной технологической основе, которая должна внимательно рассматривать вопросы безопасности человека и окружающей среды, прежде чем какие-либо решения будут превращены в жизнь. Взаимодействие с заинтересованными общественными группами может быть успешным, если главными параметрами программы общественного одобрения будут техническая надежность и открытый доступ к информации. Примечательно, что программа Шведского проекта по безопасности ядерного топлива (KBS) отвечает требованиям „Закона об условиях”, в то время как неудача проектов захоронения отходов могла бы остановить загрузку топлива во вновь построенные реакторы. Принятый в Швеции подход — широкое информирование общественности и обнародование технических концепций — должен рассматриваться в качестве примера по достижению одобрения со стороны общественности планов по обработке и захоронению отходов.

Международное сотрудничество

Деятельность по обращению с отходами не может быть замкнута внутри национальных границ, тем

* Из выступления Ханса Бликса, Генерального директора МАГАТЭ, на Международной конференции по обращению с радиоактивными отходами в Сиеэте, 16–20 мая 1983 г. Отчет о конференции — см. Бюллетень МАГАТЭ, том 25, № 4 (Декабрь 1983).

не менее прогресс в решении вопросов, требующих международного обсуждения и принятия решений, незначителен. В то время как МАГАТЭ и другие международные организации, занимающиеся вопросами мирного использования атомной энергии, действуют в качестве ускорителей в решении некоторых глобальных вопросов обращения с радиоактивными отходами, по вопросу же сооружения международных хранилищ отходов не было достигнуто никакого прогресса.

Особая проблема заключается в определении ответственности крупных государств и международной общественности перед странами с незначительными ядерными программами и/или с ограниченными или не подходящими земельными площадями для захоронения отходов, возникающих от работы АЭС. Продажа АЭС другим странам приносит прибыль продающему, и разве он не должен нести ответственность за обеспечение окончательного захоронения отходов, возникающих от эксплуатации этих АЭС, если покупатель не обладает технологией или подходящими геологическими формациями для изоляции этих отходов? Этот вопрос должен быть поставлен международным сообществом в ближайшем будущем, т.к. перед странами, эксплуатирующими АЭС или планирующими их эксплуатацию, встанут проблемы захоронения отходов, которые не могут быть практически решены внутри национальных границ.

Захоронение отходов в геологические формации

Технология захоронения отработавшего топлива и/или упаковок с отвержденными высокоактивными

отходами в глубокие геологические формации постоянно совершенствуется, но все еще существуют вопросы, которые нуждаются в дальнейшем разъяснении. Среди них — каким образом может быть адекватно продемонстрирована безопасность в будущем, и как может быть установлен баланс между снижением до минимума доз облучения для сегодняшних и будущих поколений? А также, в какой части системы захоронения отходов должен подводиться эффективный баланс — что это — матрица, контейнер, инженерные барьеры, материал засыпки или коренная порода?

Такой подход должен базироваться на научных и социальных аспектах, однако, невыполнимо и даже нежелательно обеспечение оптимизации каждой компоненты многобарьерной системы изоляции отходов до степени „n” с целью достижения приемлемого радиологического риска для современного и будущих поколений. Должно быть достигнуто согласие в том, что приемлемые барьеры для каждой компоненты системы должны сложиться в общую „гарантированную от провалов систему”.

В заключение, конечно, необходимо отметить уровень прогресса, который был достигнут в области обращения с радиоактивными отходами. Технологические методы и практический опыт стран, использующих атомную энергию, обеспечивают безопасность и защиту человечества и окружающей среды от радиологического риска. Технологические методы, способные обеспечить необходимую обработку и захоронение отходов, уже существуют. Разве мы не можем объединить силы и решить раз и навсегда имеющиеся проблемы в сфере обращения с радиоактивными отходами, замедляющие наш прогресс и мешающие человечеству пожинать плоды от использования атома?

