

Обращение с радиоактивными отходами

Конференция по проблемам обращения с радиоактивными отходами

С. Фаридуддин и Дж. Хирлинг*

Атомная энергия используется для производства электроэнергии в промышленном масштабе около 30 лет. Поэтому можно сказать, что данная отрасль промышленности достигла зрелости. Проблемы обращения с радиоактивными отходами с самого начала решались с достаточной полнотой, однако с возрастанием внимания к вопросам обеспечения долгосрочной безопасности и защиты окружающей среды эти проблемы становятся все более решающими в борьбе за признание ядерной энергетики как глобального промышленного источника энергии.

МАГАТЭ сочло своевременным организовать в начале текущего года международную конференцию для рассмотрения всего спектра вопросов обращения с радиоактивными отходами и их связи с национальными ядерными энергетическими программами. Конференция проходила в Сиэтле, штат Вашингтон, с 16 по 20 мая этого года. Итоги конференции оказались плодотворными и отразили всеобщую заинтересованность. На конференции присутствовали 528 делегатов от 29 государств-членов МАГАТЭ и 8 международных организаций. Было проведено 21 заседание, на которых было представлено 149 докладов, в том числе отчет о деятельности МАГАТЭ в этой области. Кроме двух дискуссий за круглым столом, одной по перспективам дальнейшего международного сотрудничества и другой, подводившей итоги всех технических заседаний, было проведено дополнительное заседание.

Программа конференции была составлена таким образом, чтобы можно было представить обзорные сообщения и текущую информацию по пяти основным направлениям:

- политика в области обращения с отходами и ее осуществление — национальные и международные подходы; юридические, экономические и социальные аспекты, проблема окружающей среды (четыре заседания с 27 докладами от 16 стран и четырех международных организаций)
- обращение, обработка и подготовка к хранению отходов ядерных установок, атомных электростанций и перерабатывающих предприятий, включая

*С. Фаридуддин — руководитель Отдела ядерного топливного цикла МАГАТЭ, Председатель организационного комитета Международной конференции по обращению с радиоактивными отходами. Дж. Хирлинг — руководитель Секции обращения с отходами Отдела ядерного топливного цикла, координатор данной конференции.

обращение с газообразными и особого типа отходами и их обработку (5 заседаний с 35 докладами)

- хранение и подземное захоронение радиоактивных отходов: общие и национальные концепции, подземные лаборатории и проекты хранилищ для захоронения отходов высокой, средней и низкой активности (5 заседаний с 35 докладами)
- оценки систем обращения с отходами с точки зрения влияния на окружающую среду и безопасность: цели, методы, оценки для геологических хранилищ, отходов средней и низкой активности и хвостов рудоперерабатывающих предприятий (4 заседания с 26 докладами)
- радиоактивные выбросы в окружающую среду с ядерных предприятий: современное состояние и перспективы, процессы переноса в окружающей среде и контроль за сбросом в окружающую среду радиоактивных отходов (3 заседания с 23 докладами)

Представленные на конференции доклады были отобраны из 500 присланных. Научный секретариат приложил немалые усилия для обеспечения обсуждения многих обзоров, недавно выполненных Агентством и другими международными организациями в конкретных областях обращения с отходами, а также по современной политике в этой области и ее осуществления в странах, использующих атомную энергию. Кроме того, сочли целесообразным включить обзоры работ по подземному захоронению отходов, по обработке и видоизменению отработавшего топлива и отходов после переработки, по обращению с хвостами предприятий по переработке урановых руд в ведущих ядерных странах, а также попытаться показать некоторые перспективы в решении проблем обращения с радиоактивными отходами по сравнению с проблемами других видов радиологического воздействия ядерной промышленности, а также вопросами обращения с химическими отходами. Около 70 представленных докладов были докладами по приглашению.

На заседании, посвященном открытию конференции, выступили Генеральный директор Ханс Бликс и представители правительства США и штата Вашингтон. Г-н М. Дж. Лоуренс, заместитель директора управления по подготовке акта о политике по отношению к ядерным отходам министерства энергетики США, сказал, что конференция оказалась „особенно уместной и своевременной”, так как она сосредоточила свое внимание на „сомнениях,

которые международное сообщество должно успешно разрешить, если мы хотим обеспечить широкое развитие ядерной энергетики”, а также „области, в которой необходимо тесное международное сотрудничество, отвечающее нашей общей заинтересованности в сохранении окружающей среды в глобальном масштабе”.

Тон конференции был задан двумя основными выступлениями о состоянии технологии в области обращения с отходами и об основных направлениях научно-исследовательских работ в рамках выполнения программ обращения с отходами. Вначале выступил г-н Дж. А. Либерман, один из первых американских исследователей в области обращения с отходами, начавший работы в 50-е годы. Он сделал вывод, что существуют методы, позволяющие нам выбирать место, проектировать, сооружать и эксплуатировать системы обращения с отходами. Эти системы удовлетворяют строгим требованиям радиационной защиты при приемлемой стоимости и не требуется коренных усовершенствований технологии. Вторым докладчиком был г-н Д.Ф. Лефевр, директор Департамента отходов и выбросов Комиссариата по атомной энергии Франции. Оба докладчика напомнили о длительном опыте и исследованиях в области обращения с радиоактивными отходами, которые в настоящее время образуют твердую основу для осуществления промышленных систем и конкретных проектов.

Агентство представило доклад о целях, проводимых работах и результатах его собственной Программы по обращению с отходами, акцентируя особое внимание на последних исследованиях и сотрудничестве с другими международными организациями в соответствующих областях, а также на систематической и обширной работе, которая уже выполнена или проводится на международном уровне для оказания помощи в деле осуществления национальных программ обращения с отходами и для решения связанных с этим международных вопросов.

Политика в области обращения с отходами и ее осуществление

27 докладов по этой теме от 16 стран и четырех международных организаций показали, что правительства сознают необходимость соответствующего своевременного осуществления систем обращения с отходами, включая определение связанных с ним нормативных, организационно-правовых и финансовых мероприятий. Во многих странах уже приняты соответствующие решения. Среди них страны, которые планируют расширение в ближайшие годы своих ядерных программ (Египет), и страны, которые в своей ядерной политике прогнозируют применение ядерной энергии только на ближайшие примерно 30 лет (Швеция). Во многих странах существуют программы с утвержденными планами создания геологических хранилищ для высокоактивных отходов или отработавшего топлива (США), или выбора соответствующих площадок (например, Аргентина, ФРГ, Швеция, Швейца-

рия), но существуют также страны, политика которых направлена фактически на отсрочку принятия решений о сооружении таких хранилищ (Великобритания).

Очевидны некоторые общие хорошо известные основные положения. Ясно, что основной движущей силой при принятии решения должна быть необходимость охраны здоровья населения. Во многих странах существуют или активно обсуждаются хорошо известные юридические, регламентационные, организационные, финансовые и административные механизмы осуществления политики. Для них характерно общее понимание и даже согласие в том, что имеется достаточно эффективная технология безопасного обращения с радиоактивными отходами.

Во многих странах уже построены подземные хранилища для захоронения отходов средней и низкой активности (например, во Франции, Индии, ГДР, СССР, Великобритании и США). В этих и других странах разрабатываются национальные концепции захоронения, направленные на удовлетворение длительных потребностей ядерных программ. Существует общая тенденция использования варианта захоронения ядерных отходов на суше, а не сброс их в море, хотя в некоторых странах сохраняется заинтересованность в захоронении в море (Великобритания, Япония, Бельгия, Нидерланды и Швейцария).

В дискуссиях и резолюциях были затронуты социально-политические аспекты рассматриваемой проблемы, которые, по общему мнению, сдерживают дальнейшее развитие ядерной энергетики. Так как для достижения общественного понимания и одобрения риск обращения с радиоактивными отходами требует правильного освещения, что является трудной задачей, то эта проблема требует внимания на национальном и международном уровнях.

Имеющаяся информация об экономических аспектах обращения с отходами свидетельствует о том, что учет полной стоимости хранилищ отработавшего топлива и окончательного захоронения отходов увеличит их относительную долю в общей стоимости ядерной энергии (упоминались цифры, превышающие 10%). Затраты на обращение с отходами в большинстве случаев переносятся на цену электроэнергии, и допускающие такую практику нормативные положения уже существуют или вводятся в Швеции (2,3 милл*/кВт·ч), США (1 милл*/кВт·ч), ФРГ (6 милл*/кВт·ч), Швейцарии (5%) и так далее. Хотя эти затраты выше, чем ранее предполагалось, мало вероятно, что они будут иметь сколько-нибудь серьезное, а тем более решающее влияние на использование ядерной энергии даже в странах с небольшими ядерными программами. Экономика не была и не будет основной движущей силой в деле упрощения или уменьшения консерватизма систем обращения с радиоактивными отходами; можно создавать сложные системы, которые удовлетворяют требованиям длительной безопасности и строгим требованиям

* 1 милл = 10^{-3} долларов США = 0,1 цента



В помещении, где проходила конференция в Сиегле, была развернута выставка, на которой демонстрировались некоторые из работ Агентства в области обращения с радиоактивными отходами. Участники обсуждают один из демонстрируемых крупномасштабных фотоснимков.

радиационной защиты, даже если не всегда эти системы можно оправдать с технической точки зрения.

В некоторых странах существуют специальные организации для создания или эксплуатации систем обращения с удаляемыми отходами или отработавшим топливом, например, ONDRAF в Бельгии, ANDRA во Франции, SKBF в Швеции, NAGRA в Швейцарии и NIREX в Великобритании. В США в министерстве энергетики во исполнение Закона об обращении с ядерными отходами, подписанного президентом Рейганом в январе 1983 г., создано новое управление, несущее ответственность за обращение с радиоактивными отходами гражданского происхождения, за разработку устройств для временного хранения и хранилищ для хранения и

захоронения радиоактивных отходов высокой активности и отработавшего ядерного топлива, а также за программу исследований, разработки и демонстрации достижений в этой области.

Положительная роль международных организаций признается всеми, при этом отмечается, что чем больше государств представлено в организации, тем более общим должен быть ее подход к соответствующей проблеме. Роль МАГАТЭ как источника информации и рекомендаций очевидна. Международное сотрудничество в области захоронения отходов возможно. В частности, неоднократно обсуждалось желание малых стран иметь доступ к хранилищам более крупных в ядерном отношении стран или иметь возможность передавать им отработавшее топливо,

однако практические шаги в этой области были признаны преждевременными.

Обращение с отходами, их обработка и подготовка к хранению

В 35 докладах на заседаниях по этой теме рассматривались методы и опыт обращения, обработки и подготовки к хранению отходов высокой, средней и низкой активности, образующихся в процессе эксплуатации атомных электростанций и перерабатывающих предприятий, при демонтаже установок, а также при работе некоторых других ядерных установок, включая установки, связанные с улучшенными топливными циклами.

Обзорные доклады главным образом основывались на последних исследованиях международных групп специалистов. Они показали, что приемлемость методов обращения с отходами низкой и средней активности подтверждена опытом промышленной эксплуатации, хотя это не снижает потребности в дальнейших технологических исследованиях. В странах Европейского Сообщества были приняты значительные усилия, направленные на выяснение свойств отходов низкой и средней активности для достижения требуемого уровня обеспечения качества различных видов отходов и упаковок для хранения и захоронения, а также для создания банка соответствующих данных. Подобным образом результаты скоординированной исследовательской программы МАГАТЭ по исследованиям подготовленных к хранению форм высокоактивных отходов показали важность распространенных методов исследований и оценок поведения различных форм отходов в „реальных” условиях хранения.

В ряде стран сооружаются опытные или экспериментальные промышленные установки для остекловывания высокоактивных отходов или активно проводятся испытания в этой области. Пока промышленный опыт с остекловыванием „реальных” высокоактивных отходов имеется только во Франции. Доклад об обращении со специфическими отходами на втором блоке станции Три Майл Айленд посвящен различным проблемам, которые могут возникнуть при демонтаже и ремонтных работах, необходимых после аварий на ядерных установках. Международный обзор вопросов снятия с эксплуатации ядерных установок показал, что имеющийся опыт, а также технические и проектные возможности достаточны для проведения разумных оценок затрат и осуществления соответствующих мероприятий для окончательного захоронения отходов, образующихся при демонтажных работах.

Доклады об обращении с отходами, образующимися на атомных электростанциях, были посвящены методам уплотнения, сжигания, битумизации и цементирования, а также специальным вопросам, связанным с обращением с отработавшими ионообменными смолами и тритий-содержащими отходами. Подчеркивалась важность дальнейшего совершенствования методов уменьшения объемов, в част-

ности для облегчения временного хранения: например, ФРГ стремится уменьшить объемы отходов атомных электростанций в пять раз.

Наиболее важной проблемой при обращении с газообразными отходами является выделение и хранение значительных количеств четырех радионуклидов — криптона-85, йода-129, трития и углерода-14, выделяющихся из растворенного топлива на перерабатывающих предприятиях. Выброс в окружающую среду любого из этих радионуклидов привел бы к увеличению ожидаемой дозы облучения населения, как проживающего в окрестностях предприятий, так и по всему миру. Проблема газоаэрозольных загрязнений очень сложна, так как для каждого элемента требуется своя технология выделения, связывания и хранения. Проблема выделения и хранения йода-129 и в меньшей степени углерода-14 и криптона-85, кажется, должна быть решена. Ни один из рассмотренных критериев не свидетельствовал о необходимости контроля выброса трития, поэтому его выделение из состава газоаэрозольных выбросов не рекомендуется.

В докладе Комиссии Европейского Сообщества дан обзор научно-исследовательской деятельности в области обращения с радиоактивными отходами, образующимися при снятии с эксплуатации атомных электростанций. Были разработаны высокоэффективные методы дезактивации, в частности, с применением химически активных дезактиваторов в жидкой и гелеобразной формах. Также исследуются электрохимические и гидромеханические методы. Некоторые обнадеживающие результаты были получены при дезактивации бетонных поверхностей быстрым нагревом, вызывающим выкрашивание тонкого слоя.

Докладчики из Франции, ФРГ, Индии, Японии, Великобритании и США сообщили о национальном подходе и опыте обращения со всеми типами радиоактивных отходов перерабатывающих предприятий. В этих странах построены эффективные перерабатывающие предприятия, находящиеся либо в промышленной, либо в опытной эксплуатации, и накоплен многолетний опыт промышленной эксплуатации. Широко используются такие методы, как выпаривание, соосаждение, сжигание, уплотнение; методы извлечения плутония; битумизация и цементование для подготовки к хранению отходов средней и низкой активности. Были представлены обширные обзоры накопленного в США опыта, а также сделаны сообщения о проектах обработки и подготовки к хранению разнообразных отходов, образующихся на перерабатывающих предприятиях в Ханфорде, Айдахо и Савана-Ривер. Также было сообщено об опыте, накопленном на французском перерабатывающем заводе в Ла-Хагуа, включая меры, предусмотренные для новых установок, строящихся на этой площадке.

Значительные усилия предпринимаются в соответствии с американским Актом 1983 г. о политике по отношению к ядерным отходам для обработки и подготовки к окончательному захоронению отходов, хранящихся на станциях Департамента энергетики США. Были разработаны и применяются ме-

годы выделения из высокоактивных отходов цезия-137, стронция-90, криптона-85 и америция-241.

Опыт перерабатывающих предприятий Великобритании обращает внимание на то, что вопросы обращения с отходами средней активности стали более важными, чем вопросы обращения с отходами высокой активности, для которых уже строятся заводы для остекловывания. В ФРГ на перерабатывающем заводе WAK в Карлсруэ проводятся значительные работы по улучшению извлечения плутония и обращения с органическими растворителями, а также по уменьшению объемов образующихся отходов. Построенный в Индии завод для остекловывания отходов и опытные заводы в Италии используют методы, подобные применяемым в других странах.

В других докладах сообщалось о состоянии дел на опытных заводах по остекловыванию отходов, действующих в Бельгии, ФРГ, Италии, СССР, а также на площадке Вест Велл в США, на которой хранятся отходы от ранее проводившейся коммерческой переработки топлива. Другими примерами улучшенных методов обработки отходов низкой и средней активности являются процесс выдерживания в кислоте для горючих альфа-активных отходов (подготовительный этап при извлечении плутония) и процесс выжигания шлаков, используемые в Бельгии для комплексной обработки альфа-, бета- и гамма-излучающих веществ. Последний метод кажется особенно перспективным для достижения значительного сокращения объема и получения стабильных форм отходов. В качестве альтернативы остекловыванию высокоактивных отходов в Австралии проводятся дальнейшие исследования процесса Synroc; эти исследования включают оценку промышленной осуществимости этого процесса на опытных предприятиях, а также исследования возможных отвержденных отходов, включая отходы, содержащие растворенное отработавшее топливо.

Все представленные доклады свидетельствуют о том, что методы обращения с высокоактивными и альфа-излучающими отходами перерабатывающих предприятий в основном прошли этап научно-исследовательских работ и в настоящее время вполне готовы к промышленному внедрению на действующих или сооружаемых предприятиях в различных странах. Однако здесь существуют возможности для дальнейших улучшений, а также проблемы, которые могут потребовать дальнейших исследований. Это особенно справедливо для извлечения таких газообразных нуклидов, как криптон-85, йод-129, углерод-14 и тритий. Имеющийся во Франции опыт по обращению с отходами реакторов на быстрых нейтронах и данные об их топливном цикле свидетельствуют о том, что такие отходы могут обрабатываться, и здесь не будет существенно новых технологических проблем.

На основе всех представленных по этой тематике докладов можно сделать общий вывод, что технические средства обращения с радиоактивными отходами ядерных установок проверяются и используются. Их дальнейшее развитие не должно являться препятствием для существующих ядерных энергетических программ.

Хранение и подземное захоронение радиоактивных отходов

35 докладов по этой теме касаются экспериментов, практического опыта и дальнейших улучшений методов подземного захоронения отходов низкой и средней активности, а также хранения отработавшего топлива и высокоактивных отходов. Были широко представлены хорошо разработанные планы переработки и практической подготовки к окончательному захоронению высокоактивных отходов и отработавшего топлива.

Во всех представленных работах отмечалась необходимость определить общие цели радиологической защиты при подземном захоронении радиоактивных отходов, что позволило бы выработать критерии для сравнения различных вариантов захоронения. В этой связи уместно упомянуть рекомендации, приведенные в некоторых недавних отчетах МАГАТЭ, таких как Серии изданий по безопасности №№ 54, 56 и 60, подготовленных как часть программы работ Агентства в этой области.

Для отработавшего топлива и остеклованных высокоактивных отходов необходимо различать две стадии — временное хранение и окончательное захоронение. В двух докладах обсуждались имеющиеся методы хранения и обращения с отходами. Двадцатилетний опыт хранения отработавшего топлива приводит к выводу, что хранение может быть более длительным, а следовательно, имеется время для определения оптимального срока перехода от хранения к окончательному захоронению. Что касается окончательного захоронения, как отработавшего топлива, так и остеклованных высокоактивных отходов, то в ряде докладов было показано, как вырабатывались концепции захоронения и как осуществлялись изыскания на площадках с использованием геофизических, геохимических и других методов исследования. Результаты, полученные для таких различных типов пород, как гранит, соль, глина, базальт и туф, ясно показывают, что цели радиологической защиты могут быть достигнуты различными путями. Шведский доклад, описывающий концепцию захоронения упакованного отработавшего топлива в хранилище в граните, вызвал особый интерес. В нем был сделан вывод о том, что современная технология позволяет получить достаточно данных для выполнения прогнозирования на далекое будущее и что полная система захоронения обеспечила бы защиту на уровне, значительно превышающем требования современного общества.

Отдельное заседание было посвящено подземным лабораториям и экспериментальным проектам, в которые были вложены большие средства в Бельгии, Канаде, ФРГ, Швеции (проект Stripa), Швейцарии и США. Очевидно, что экспериментальные проекты в значительной степени зависят от принятой системы. Они зависят от концепции захоронения и типа воспринимающих пород: гранит (Канада, Швеция, Швейцария, США), соль (ФРГ, США), глина (Бельгия), базальт (США) и так далее. Представленные доклады показали, как могут быть и будут

созданы глубокие геологические хранилища. Принципиальные подходы в Аргентине, Бельгии, Канаде, Франции, Швеции, Швейцарии и США весьма схожи. Во всех случаях, кроме одного, поступление высокоактивных отходов в хранилища планируется значительно позже рубежа веков, исключение составляет одно американское хранилище в базальте, туфе или соли, которое предполагается ввести в эксплуатацию в 1998 г.

Несколько иначе обстоит дело с захоронением отходов низкой и средней активности на небольшой глубине под землей или в хранилищах, оборудованных в пустотах в грунте. Захоронение под землей на небольшой глубине уже применяется в течение десятилетий. Во многих докладах были представлены интересные обзоры опыта, накопленного во Франции, Индии и США. Ранее при захоронениях упаковки часто не предназначались для создания непроницаемого барьера, который бы сохранялся в течение долгого времени (например, некоторые контейнеры были изготовлены из картона). Тем не менее измерения характерных радионуклидов, проводимые в окружающих грунтовых водах в течение многих лет, позволяют сделать вывод, что при нормальных гидрологических, топографических и климатических условиях выделения радионуклидов находятся существенно ниже допустимых пределов.

Один доклад был полностью посвящен геоэкологическим проблемам подземного захоронения на небольших глубинах в США. Несмотря на проблемы, выявленные в ходе осуществления захоронений на ранних этапах и в настоящее время, авторы сохраняют оптимизм. Они утверждают, что ни одна из выявленных проблем не создает видимого вреда людям, что опыт, накопленный в ходе исследования миграции радионуклидов, позволил лучше понять требования геологии и что каждая выявленная проблема поддается на практике решению путем соответствующего выбора площадки, проектирования и эксплуатации хранилища.

В ряде докладов был отражен прогресс в деле проектирования хранилищ. Хранилища варьируются от необлицованных подземных выработок до наземных насыпных и монолитных конструкций. Новейшие французские проекты последнего типа имеют встроенную систему сбора вод, позволяющую контролировать миграционный выход радионуклидов из хранилища.

По-видимому, все более важным становится использование пустот в грунте, будь то заброшенные шахты или специально вырытые пещеры для захоронения отходов низкой и средней активности. Некоторые страны имеют опыт эксплуатации хранилищ в скальном грунте (заброшенные шахты — ФРГ, ГДР и Испания), другие — планируют сооружение таких хранилищ в твердых породах (Финляндия, Швеция, Швейцария и Великобритания).

Опыт обращения с хвостами урановых обогатительных предприятий рассматривался под углом зрения современных усилий, направленных на уменьшение воздействия на окружающую среду. С помощью правительств значительные усилия направляются на улучшение защиты грунтовых вод и на

уменьшение выбросов долгоживущих радионуклидов, вредных с точки зрения защиты окружающей среды.

Страны, озабоченные такими проблемами, хорошо понимают долгосрочные последствия выделения радионуклидов из отработанных хвостов и стремятся изыскать более эффективные методы их изоляции.

Цели и методы оценки экологических последствий и безопасности

На заседаниях, посвященных защите окружающей среды и оценкам безопасности систем захоронения отходов, было представлено 26 работ. Среди участников заседаний была широкая дискуссия об основных критериях для определения целей и полное единодушие в отношении требований для ограничения доз в настоящее время и в будущем. Принципы Международной комиссии по радиологической защите, очевидно, стали общепризнанными. Было предложено использовать в качестве верхней границы некоторую часть дозового предела для индивидуума.

При рассмотрении вопросов о дозах, обусловленных нарушением целостности хранилища, возникли определенные трудности, так как при этом необходимо учитывать целый ряд возможных случаев, имеющих различную степень вероятности.

Весторонне обсуждались факторы, которые следует учитывать при оптимизации радиологической защиты. Интересной частью этой дискуссии было обсуждение проблемы интегрирования коллективных доз на очень длительном отрезке времени. Стало ясно, что существенной является только та часть коллективной дозы, которая зависит от выбора варианта защиты, так как остальная часть относительно неизменна при сравнении вариантов. Это сделало бы более разумным проводить оценки на более коротком отрезке времени, чем интегрировать по геологически значимым временам. Другим интересным моментом является то, что при выборе варианта необходимо принимать во внимание только ту часть коллективной дозы, которая обладает меньшей неопределенностью, так как в случае оперирования с полными величинами, взятыми с их огромными неопределенностями, теряется детерминированность и точность при выборе одного из вариантов. На основании этих двух составляющих, части, которая менее определенная, и части, которая зависит от выбора варианта, следует выбирать пределы интегрирования по времени, которые не могут быть бесконечными.

Имела место дискуссия о методах выбора вариантов. Одним из методов был анализ затрат-выгод, который кажется очевидным постольку, поскольку основные решения принимаются заблаговременно с учетом отдельных компонентов. Обсуждались также и другие методы, такие как анализ решений; состоялась широкая дискуссия о том, что считать „разумным”. Лица, проводящие оценки, очевидно, предпочитают нормы, основанные только

на индивидуальных дозах в будущем с некоторой допустимой степенью неопределенности и, возможно, с некоторыми критериями уменьшения дозы.

Но в целом очевидна тенденция к применению усложненной философии радиационной защиты к оценкам опыта обращения с отходами.

Ряд докладов был посвящен целиком оценкам безопасности при захоронении отходов низкой и средней активности, а также хвостов обогатительных предприятий. Для хвостов обогатительных предприятий была сделана попытка применить оптимизацию решений или, по крайней мере, выделить ее основные моменты. Был проведен определенный анализ, а также указаны технологически возможные методы уменьшения выделения радона и оценено их реальное значение с точки зрения больших периодов времени. Что касается отходов низкой и средней активности, то ключевым вопросом, возможно, является попытка определить, что является „безопасным“, а не просто оценивать, является ли система „хорошей“ или „плохой“. Было представлено несколько анализов „нормального“ механизма переноса радиоактивности водой и сравнений на основе индивидуальных доз. Также указывались вероятные случаи механических разрушений, например, образование отверстий в конструкции, и был дан анализ минимального времени надзора, необходимого для обеспечения основных требований безопасности. Дискуссии по глубоким геологическим хранилищам главным образом касались их характеристики оценок безопасности. Были также доклады, в которых оценивалась безопасность идеализированных хранилищ в различных типах пород, а также оценивались специфические хранилища. Во всех случаях рассматривались вопросы, связанные с эффективностью различных барьерных систем и в том числе разрушение содержащей отходы матрицы, характеристики упаковки, буферных и изолирующих материалов, миграция через породы в биосферу и оценка результирующих коллективных доз.

Об исследованиях воздействия на окружающую среду, представляющих собой часть обширных исследований геологических захоронений отходов, осуществляемых Комиссией по системам изолирования отходов при Совете национальных исследований США, доложил Томас Х. Пигфорд, председатель одного из заседаний за круглым столом. Гидрологические и геохимические параметры конкретной площадки, дополненные при необходимости параметрами общего характера, позволили рассчитать будущие дозы радиации для максимально облучаемых людей для предполагаемых хранилищ в базальте, граните, соли и туфе. Было проведено сравнение с величиной 10^{-4} Зв/год, характерной для радиационного облучения при „вероятных“ событиях. Были приведены максимальные ожидаемые индивидуальные дозы, которые по оценкам упомянутой работы намного ниже характерной величины, приведенной выше. В работе также приводится ряд рекомендаций и выводов. Среди них необходимость точно определенного общего крите-

рия, который бы определял приемлемые характеристики геологической системы изолирования отходов; должны быть определены рекомендации и подходы к решению проблем в технических и других областях, а также средства уменьшения неопределенности в оценках будущих проникновений отходов в окружающую среду.

Доклады, представленные на заседаниях по этой теме, показали, как усложняются оценки безопасности. Возможно, наиболее важным является то, что возникает большое количество данных, которые не вполне однозначны, ввиду чего чрезвычайно важно оценить их воздействие и особенно роль неопределенности в определении различных физических параметров. Некоторые физические параметры оказывают большое влияние на конечный результат, другие – небольшое. Пути преодоления неопределенностей также различны.

При „детерминированном“ подходе эти неопределенности необходимо будет учитывать, выбирая для окончательной коллективной дозы ее максимальное значение, которое затем сопоставляется с некоторым заданным значением. В случае „вероятностного“ подхода необходимо использовать оценки с учетом их вероятности.

Процессы переноса в окружающей среде и их модели

На заседаниях по процессам переноса в окружающей среде и моделям было представлено 23 доклада, касающихся разработки технических средств оценки последствий выбросов в окружающую среду. В одном докладе, описывающем модель переноса долгоживущих радионуклидов, выбрасываемых в окружающую среду, отмечались некоторые недостатки моделей переноса трития и йода-129, особенно при необходимости определения доз вблизи места выброса. Другой доклад являлся предварительным отчетом о проекте INTRACOIN, который, возможно, будет наиболее важным с точки зрения сравнений в международном масштабе. По этому проекту сравнивается почти 20 расчетных программ для моделирования переноса радионуклидов в геологически больших полях, в работе принимают участие группы исследователей из Канады, Дании, Франции, Швеции, Швейцарии, Великобритании и США.

В нескольких докладах, посвященных исследованиям и измерениям, подчеркивалась комплексность вопросов окружающей среды и чувствительность процесса переноса радионуклидов к химическим и биохимическим взаимодействиям. В частности, на площадке захоронения отходов низкой и средней активности Мекси Флетс в США изучается эффект влияния на подвижность нуклидов таких комплексообразующих веществ, как EDTA и других органических веществ, таких как карбоксильные кислоты.

Очевидна необходимость в большей реальности моделей прогнозирования, которая может быть достигнута на основе более внимательного изучения конкретных площадок и большего сосредоточения на оптимизации методов и устройств для захо-

ронения отходов. С другой стороны было бы непомерной задачей требовать от моделей подробного воспроизведения всей сложности взаимосвязей условий на реальных площадках захоронения. Необходимо найти правильное соотношение в этом вопросе.

Большинство докладов на заседании, посвященном контролю захоронения радиоактивных отходов в море, касались проблемы сбрасывания в море упакованных твердых отходов. В настоящее время проводятся обширные, скоординированные на международном уровне исследования по многим областям знаний, необходимые для повторной оценки опасности сбрасывания в море отходов, сформулированного МАГАТЭ. В нескольких докладах освещены отдельные вопросы этих исследований, включая обзор по океанографическому моделированию, только что выполненному Объединенной группой экспертов ООН по научным аспектам загрязнения морей (GESAMP), скоординированные исследования и программу контроля окружающей среды, осуществляемую Агентством по ядерной энергии ОЭСР (АЯЭ), и экспериментальные измерения, проводимые Международной лабораторией МАГАТЭ по радиоактивности моря в Монако. Общий вывод этих докладов таков – вскоре появятся улучшенные, более подходящие и реалистичные модели для выполнения различных необходимых исследований с применением более точных данных из формируемой в настоящее время базы данных. Ни одно из выполненных к настоящему моменту исследований не показало, что выполненные ранее оценки опасности оказались слишком низкими. Пожалуй, было выявлено больше процессов, замедляющих перенос радионуклидов к человеку. В этой области очень важным является международное научное сотрудничество, и МАГАТЭ продолжает играть здесь решающую и активную роль.

Два доклада были посвящены возможности захоронения высокоактивных отходов на морском дне. Работы этого направления выполняются под общим руководством Рабочей группы АЯЭ по морскому дну, и в одном из докладов было рассказано о создании современной организации и программе этой группы. По-видимому, захоронение на морском дне технически возможно, но здесь существует много технических проблем и организационных вопросов, которые требуют решения прежде, чем этот вариант можно было бы рассматривать с точки зрения его осуществления.

Был представлен информационный обзор по облучению населения в результате сброса трансураниевых нуклидов в море в Селлафилде в Великобритании (возможно, более известном как Виндскейл). В докладе Великобритании подчеркивалась роль обратной связи программ измерений с оценками доз, а также трудности предсказания достаточно достоверных доз, формирующихся в будущем от таких долгоживущих радионуклидов.

Результаты девятилетних полевых исследований миграции радионуклидов, образовавшихся при маломощных подземных испытательных ядерных взрывах в аллювиальных туфах на испытательном

полигоне в Неваде, были изложены в докладе США. Результаты свидетельствуют о том, что большая часть радиоактивности, как оказалось, осталась в осколках деления в районе образовавшейся полости. Были исследованы образцы, взятые непосредственно с поверхности земли и с глубин до отметки 50 м ниже точки взрыва: обнаружено, что нет превышения фоновых уровней активности в самых нижних образцах и что только третий и стронций-90 присутствовали в воде, накопившейся в воронке, в количествах, превышающих концентрации, рекомендуемые для воды в неконтролируемой зоне.

На этом заседании было представлено несколько докладов, касающихся выбросов с атомных станций в окружающую среду, обзоров общих уровней загрязнения окружающей среды и последующих доз. Примером является сводный отчет за 1982 г. Научного комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН). Были также дискуссии относительно процедур разрешения сбросов, а также необходимости принимать во внимание при оптимизации все возможные варианты, такие как накопление, отверждение и захоронение с непосредственным сбросом некоторых нуклидов. Дальнейшая проблема заключается в определении тех допусков, которые следует сделать относительно накопления радионуклидов в окружающей среде, и доз, которые образуются в далеком будущем в местах, удаленных от точек сброса.

Важной международной деятельностью являются усилия, направленные на попытку достижения соглашения по контролю загрязнения, распространяющегося через государственные границы. Ключом к этому является признание того, что дозам, получаемым „иностранцами”, следует придавать такое же значение, как и дозам, получаемым гражданами страны, где происходят выбросы радионуклидов. МАГАТЭ играет главную роль в этой деятельности.

Доклад Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) служит напоминанием о том, что степень беспокойства, объем знаний и комплексность подхода к проблеме захоронения радиоактивных отходов значительно выше, чем в отношении других токсичных отходов. Практические усилия, требующиеся для правильного изложения вопросов обращения с радиоактивными отходами, не ясны.

Перспективы международного сотрудничества

В дополнение к докладам различных международных организаций международным обзорам по специальным вопросам во время технических заседаний, была проведена встреча за круглым столом для представителей заинтересованных международных организаций и некоторых государств-членов, посвященная перспективам дальнейшего международного сотрудничества.

Председатель г-н Е. Свенк из шведской компании, поставляющей ядерное топливо, говорит о том, что он называл „тремь измерения угрозы” от

ядерной энергии — „угроза ядерного оружия”, „угроза радиации” и „третье измерение”, характеризующее временным периодом, в течение которого радиоактивные отходы должны находиться в условиях окончательной изоляции. В заключение он сказал, что международное сотрудничество не только ценно, но в этой области необходимо, т. к. требования длительной безопасности имеют „моральное” измерение. Это приводит, оставив в стороне существующие вопросы национального суверенитета и границ, к необходимости международного согласия относительно общих принципов и методов оценки. Возможно, будут полезны многонациональные хранилища.

Представители МКРЗ, МАГАТЭ, ВОЗ, АЯЭ, КЕС и Совета Экономической Взаимопомощи (СЭВ) проинформировали об областях своей деятельности и ответственности. Затем состоялось обсуждение, что получили или чего могут ожидать от международного сотрудничества в области обращения с отходами такие страны, как Франция, Индия, Швеция и США. В дополнение к общим доводам в пользу международного сотрудничества, таким как совместный опыт, получение экономии или объединение ресурсов, следует назвать еще один — международное сотрудничество может существенно способствовать согласованию национальных подходов, а также разъяснению различий между ними, завоеванию социально-политического и общественного признания. Было названо несколько важных областей международного сотрудничества, но все согласились, что разработка согласованных на международном уровне критериев безопасности, включая методы и основные входные данные для демонстрации соответствия требованиям длительной безопасности, должна оставаться основной целью, направленной на подтверждение того, что безопасное захоронение всех видов радиоактивных отходов возможно и что соответствующие проекты и предложения могут быть оценены и приняты к действию.

Выгоды международного сотрудничества очевидны. Получив широкое международное одобрение принципов, а также методов оценки безопасности и входных данных, можно добиться признания общественностью того факта, что предприняты надлежащие меры безопасности.

Участники встречи признали, что ядерное сообщество нуждается в более целеустремленной интеграции и МАГАТЭ, как международная организация высокого уровня, возможно, могло бы объективно найти пути взаимодействия с другими профессиональными и заинтересованными объединениями.

Общие выводы

Г-н Б.А. Семенов, заместитель Генерального директора МАГАТЭ, директор Департамента ядерной энергии и безопасности, председательствовал на заключительном заседании. Пять экспертов, председательствовавших на технических заседаниях, представили основные вопросы, которые выявились по каждому из пяти основных направлений.

Можно сделать следующие основные выводы:

1. Как и ожидалось, данная конференция не выявила какие-либо революционные научные или технологические исследования, но она показала, что в большинстве стран осуществляются на практике системы обращения и захоронения радиоактивных отходов. Во многих странах это находит отражение при принятии соответствующих решений и в организационных и финансовых мероприятиях.
2. Технология обращения с отходами вышла из стадии разработок, и в настоящее время начинается полномасштабная промышленная реализация проектов. Часто говорят, что „имеется технология” для осуществления соответствующих систем обращения с отходами, которые удовлетворяют требованиям ядерных энергетических программ и целям длительной безопасности. Это заявление, возможно, нуждается в некоторой детализации, так как оно не означает, что определенная технология одинаково освоена или доступна во всех странах или для всех установок одного и того же уровня сложности (если вообще доступна), или что дальнейшие исследования не являются необходимыми. Современные программы характеризуются переходом от изучавшихся ранее общих вопросов к современным проектам для конкретных площадок и установок; дальнейшие исследовательские работы потребуются в ходе промышленного освоения.
3. Совершенно очевидно, что своевременное решение организационных, нормативных, финансовых и социально-политических вопросов является предварительным условием для успешного развертывания технологии, которая „имеется”, и что эти вопросы особенно важны для того, чтобы успокоить общественность.
4. Так как главной заботой, связанной с захоронением отходов, являются проблемы длительной охраны здоровья людей и безопасности, то очень существенно четкое формулирование соответствующих целей безопасности и технических критериев, а также демонстрация возможности их достижения, для понимания и признания общественностью.
5. Был достигнут значительный прогресс на национальном и международном уровнях в определении таких целей, критериев и методов оценки безопасности. На этой конференции были представлены пути применения рекомендаций МКРЗ к конкретным вопросам захоронения отходов, и теперь есть уверенность, что некоторые вопросы интерпретации будут решены в ближайшие годы. Для демонстрации соответствия требованиям длительной безопасности придется довериться прогнозам. Уменьшение неопределенностей и проверка моделей потребуют дальнейшей работы, однако механизмы влияния на выбросы радионуклидов станут более понятными после того, как появятся больше конкретных данных с площадок. Проверка оценок длительной безопасности определено потребует обсуждения специалистами, а дальнейшие исследования по многим направлениям и работы с природными аналогами помогут достижению согласованного решения.

6. Радиологическое воздействие производства ядерной энергии и вклад, который вносит обращение с отходами в суммарную дозу облучения как в краткосрочном, так и долгосрочном плане, получены на основе данных, представленных в отчете НКДАР ООН за 1982 г., а также информации ВОЗ по обращению с токсичными химическими отходами делают возможным представление проблем обращения с радиоактивными отходами в более выгодном свете.

7. Хотя данная конференция уделила основное внимание обращению с высокоактивными отходами, было также ясно показано, что обращению с отходами низкой и средней активности по-прежнему следует уделять значительное внимание, с тем чтобы удовлетворить потребности современной ядерной промышленности в захоронении своих отходов надлежащим образом и без необоснованной задержки. Конференция показала, что захоронение таких отходов неглубоко под землей или в пустотах в грунте является хорошо поставленным делом и используется или предполагается использоваться во многих странах. Тем не менее некоторые страны заинтересованы в сбросе в море отходов низкой активности на условиях Лондонской конвенции. Для выполнения критериев приемлемости отходов и по экономическим соображениям как для временного хранения, так и для захоронения сохраняются побудительные мотивы улучшения как методов уменьшения объема, так и форм отходов. Также отмечалась необходимость в соответствующем обращении с отходами, образующимися при демонтажных работах и при аварийных ситуациях.

8. Продолжающийся поиск улучшения подхода к безопасности даже в давно существующих видах промышленной деятельности, а также возросшая

забота об окружающей среде обращают также внимание на длительное радиологическое воздействие хвостов от операций по обогащению урановых руд.

9. Многие страны начали или в скором времени начнут проектные работы и исследования в подземных опытно-исследовательских лабораториях в целях разработки хранилищ для высокоактивных отходов. Демонстрация полномасштабного действующего хранилища ожидается в течение следующих 10–15 лет в США и, возможно, также в некоторых других странах. В ряде стран будут выбраны площадки для хранилищ, которые предполагают ввести в действие после 2000 года.

10. Конференция еще раз подчеркнула, что имеющаяся технология для контроля жидких и газообразных сред достаточно эффективна, чтобы сделать ядерную энергетику очень чистым источником энергии. Однако выбросы в окружающую среду некоторых радионуклидов могут оказывать радиологическое воздействие за пределами национальных границ. Для решения этих проблем требуется международное согласие и руководство. Также сохраняется необходимость приспособления существующих методов обращения с жидкими и газообразными средами для обращения с конкретными радионуклидами и улучшения эксплуатационных режимов и проектов АЭС для поддержания выбросов в окружающую среду всегда на минимальном, разумно достижимом уровне.

Таким образом, конференция подтвердила выводы прежних исследований, а именно, что ядерная энергетика может быть безопасной для человечества и не существует при этом непреодолимых проблем захоронения отходов.