

α — n -реакцию, существенны также сечения образования γ -квантов под действием нейтронов для металлов, являющихся полезными ископаемыми. Для изучения поверхности материалов на глубину 1—2 мкм представляет большой интерес использование ускорения до 20—30 МэВ ионов Li, N, O. Часть потребностей в биомедицине перекрываются с потребностями в данных для радиационных материалов. Область энергии, представляющая интерес, достигает 50 МэВ. Новые направления в радиационной терапии

и вытекающие из них потребности обсуждались на последних международных конференциях (Харвелл, Великобритания, 1978; Ноксвилл, США, 1979; Дебрецен, ВНР, 1980). В частности, важны сечения реакций, например $^{12}\text{C}(n, n'\alpha)$, $^{16}\text{O}(n, p)$, $^{16}\text{O}(n, \alpha)$ и, возможно, $^{16}\text{O}(n, n'\alpha)$.

На заключительном заседании МКЯД были определены действия членов комитета и СЯД, а также дата следующего заседания — октябрь 1981 г.

ЯНЬКОВ Г. Б.

4-сторонний семинар по регенерации отработавшего топлива и обезвреживанию радиоактивных отходов

Советско-бельгийско-нидерландско-японский семинар состоялся в ноябре 1980 г. в Радиовом институте им. В. Г. Хлопина. В 19 представленных докладах были описаны последние результаты научных и технических исследований по созданию технологических схем регенерации топлива отработавших твэлов энергетических реакторов; отработке процессов концентрирования и отверждения жидких радиоактивных отходов; усовершенствованию методов очистки газообразных отходов и перевода летучих форм радиоактивных элементов в материалы, пригодные для длительного и вечного хранения; разработке научных основ и практических аспектов вечного хранения отвержденных радиоактивных отходов в геологических формациях или глубокое море; экологическим аспектам.

Значительное место в программе семинара занимали технологические процессы, связанные с экстракционным разделением и очисткой урана и плутония от продуктов деления. Специалисты разных стран отметили близость подхода к выбору технологических схем регенерации отработавшего топлива. В Японии к настоящему времени накоплен опыт эксплуатации действующего экстракционного завода по переработке топлива легководных реакторов с выгоранием 10% ат. В процессе работы завода были выявлены технологические трудности, связанные с коррозией выпарных аппаратов, забивкой фильтров и зарастанием экстракторов. В Исследовательском центре в Моле (Бельгия) также возможна экстракционная переработка отработавшего топлива в будущем.

Особое внимание на семинаре было уделено разработке методов и оборудования для отверждения высокоактивных отходов. Признано, что наиболее проработанным технологическим процессом является остекловывание с включением кальцинации радиоактивных отходов в боросиликатные стекла. В Японии изучаются процессы распылительной сушки и кальцинации в аппаратах кипящего слоя. На стадии кальцинации предлагается добавлять цеолиты, эффективно подавляющие в интервале 600—800 °C летучесть радиоактивного цезия. Для варки стекла наибольший интерес представляет использование плавителей керамического типа с нагревом за счет джоулева тепла, которые имеют высокую коррозионную устойчивость при рабочей температуре.

В докладах советских специалистов приводились результаты разработки одностадийного процесса остекловывания с получением в качестве конечного продукта фосфатных стеклблоков. Интерес вызвали результаты работ наших специалистов по включению радиоактивных отходов в матрицы на основе стеклометаллических композиций, керамических и глиноподобных материалов, а также достижения японских специалистов по включению отходов в минералы нефелинового типа, керамические материалы цирконатного, манганатного и титанатного типов с использованием горячего прессования.

На семинаре были представлены также результаты работ по отверждению отходов низкого и среднего уровня

радиоактивности с включением их в битум, пластические массы, цемент и различные типы бетона.

Рассматривались способы улавливания летучих и газообразных продуктов деления от радиохимических установок по переработке отработавшего топлива. Бельгийские специалисты для улавливания ^{129}I исследуют систему промывки газового потока раствором азотной кислоты ртуть с дальнейшей доочисткой на цеолитах с серебром. В Японии газовые отходы от ^{129}I предполагают очищать посредством промывки их содовым раствором с последующей доочисткой на цеолитах. В настоящее время отходы, содержащие ^{129}I и тритий, сбрасывают в море. Для улавливания ^{85}Kr наиболее перспективными были признаны криогенная дистилляция и низкотемпературная адсорбция криптона с последующим хранением его в баллонах под давлением.

Специалисты обсудили проблемы, связанные с вечным хранением отвержденных радиоактивных отходов в геологических формациях. Японские специалисты сообщили о программе исследований, выполняемых в стране по вечному хранению радиоактивных отходов. Программа предусматривает проведение исследований геологических формаций в 1978—1984 гг., выбор перспективных формаций для захоронения и их тщательное изучение до организации и испытания демонстрационного хранилища, которое предполагается создать к 2015 г. В настоящее время высокоактивные отходы сбрасывают в море, высокоактивные хранят во временных наземных хранилищах.

Значительный интерес вызвал доклад бельгийских специалистов об исследовании глинистых формаций в качестве потенциальной среды для вечного хранения отходов различного уровня активности. Была представлена программа исследований, разработанная в 1976 г. На основании полевых исследований получены данные о пространственном залегании пород, минералогических, геохимических, теплофизических, радиационно-химических и коррозионных характеристиках глиняных пород, которые позволили рекомендовать для создания хранилищ радиоактивных отходов глины третичного периода в северо-восточной части Бельгии на глубине 150—300 м вблизи ядерного центра. Опытное хранилище должно быть сдано в эксплуатацию в 1982 г. Доклады об изучении геологических формаций и обмен мнениями по данному вопросу показали, что для окончательного долговременного и безопасного хранения высокоактивных отвержденных отходов наиболее подходящими геологическими формациями могут служить глинистые сланцы, скальные породы, каменная соль. Выбор геологических формаций определяется конкретными условиями каждой страны.

На семинаре были изложены также различные национальные точки зрения на решение проблемы обезвреживания радиоактивных отходов как в настоящий период, так и с учетом перспектив развития ядерной энергетики в странах. В частности, некоторые страны рассматривают складирование в глубинах морей определенных видов

хорошо упакованных радиоактивных отходов как один из технически осуществимых методов их обезвреживания. Например, в Нидерландах разрабатывается метод захоронения ^{85}Kr в море на глубину более 4000 м и для этих целей создаются специальные сферические баллоны с двойными стенками, способные выдержать давление свыше 100 кгс/см².

Участники семинара отметили важность исследований, направленных на уменьшение возможного радиоактивного

загрязнения окружающей среды на всех стадиях ядерного топливного цикла.

В ходе проведения семинара специалисты Бельгии, Нидерландов, Японии посетили радиохимический центр Радиового института, где ознакомились с опытными установками горячих камер по переработке отработавшего топлива АЭС и отверждению высокоактивных отходов, а также московскую станцию очистки и Центральную станцию радиационной безопасности.

РАКОВ Н. А.

Совещание консультантов по методологии оценки гарантий МАГАТЭ

За последние годы существенно увеличилось число ядерных установок, находящихся под международным контролем по системе гарантий МАГАТЭ. На конец 1979 г. МАГАТЭ контролировало 700 установок 50 государств, количество находившегося под гарантиями МАГАТЭ плутония достигло 68 т, высокообогащенного (более 20%) урана — 11,4 т, низкообогащенного, природного и обедненного урана, а также тория — более 27 тыс. т. При таком размахе контрольной деятельности МАГАТЭ остро встает вопрос об эффективности контроля в условиях ограниченности людских и финансовых ресурсов МАГАТЭ. Первоочередное значение приобретает оптимальное распределение этих ресурсов с тем, чтобы достичь максимальной эффективности гарантий в различных государствах без излишней концентрации усилий на одних установках в ущерб эффективности контроля на других. Решению этой задачи поможет создание методологии, которая бы позволяла достаточно объективно оценивать совокупность обычно применяемых мер контроля и могла использоваться для сравнительного анализа эффективности гарантий на различных установках.

Для создания такой методологии МАГАТЭ провело три совещания консультантов: в сентябре 1979 г., феврале и ноябре 1980 г. Наряду с сотрудниками Секретариата МАГАТЭ в них участвовали эксперты шести стран и региональной организации (Евратома), являющейся участником соглашения с МАГАТЭ о гарантиях. На совещаниях были разработаны основные принципы методологии оценки эффективности гарантий и обсуждены документы, описывающие возможную методологию и ее применение на примере легководного реактора.

Как известно, система гарантий МАГАТЭ предусматривает в качестве технической цели контроля «своевременное обнаружение переключения значимых количеств ядерного материала из мирной ядерной деятельности на производство ядерного оружия или других ядерных взрывных устройств...». При разработке методологии в качестве основы были выбраны возможные пути переключения значимых количеств ядерного материала. Понятия «значимые количества» и «своевременность обнаружения» определены принятыми в МАГАТЭ техническими критериями гарантий (например, 25 кг и 10 дней для металлического урана с обогащением выше 20%). «Путь переключения» определяется как сочетание способа удаления ядерного материала с установки и методов, которые государство может использовать, чтобы затруднить обнаружение изъятия материала из-под контроля.

Число путей переключения для каждой ядерной установки может достигать нескольких десятков, в особенности из-за наличия большого числа возможных комбинаций методов сокрытия. К ним относятся как простое искажение учетной документации, так и сложные способы, например, подмена ядерного топлива имитаторами, подделка печатей МАГАТЭ, вывод из строя автоматических систем наблюдения и т. п. Для обнаружения переключения ядер-

ного материала МАГАТЭ использует различные виды проверки (например, измерение ядерного материала с опечатаванием и фотонаблюдением). Чем выше вероятность обнаружения признаков переключения ядерного материала и чем большая часть путей переключения «покрыта» проверочными действиями, тем более эффективным может оцениваться применение гарантий МАГАТЭ.

Основные составные части разработанной методологии сводятся к следующему:

рассматривается совокупность путей переключения значимых количеств ядерного материала;

для каждого пути переключения определяются признаки (так называемые аномалии), которые могут указать на то, что состоялось переключение;

для каждой аномалии определяются действия МАГАТЭ по проверке, способные ее зарегистрировать, и оценивается вероятность регистрации;

для каждого пути переключения определяется суммарная вероятность обнаружения переключения, как комбинация вероятностей регистрации аномалий, характерных для данного пути переключения;

исходя из совокупности значений вероятностей обнаружения, достигаемых для каждого пути переключения, находится показатель эффективности гарантий для установки.

В ходе разработки методологии были сформулированы следующие принципы ее применения.

Вероятность обнаружения. Во многих случаях пока не удастся строго математически вычислять вероятность регистрации аномалий и вероятность обнаружения переключения из-за отсутствия реалистичных статистических моделей и достаточных числовых данных. Это особенно характерно для контроля с использованием качественных измерительных методов и мер сохранения и наблюдения. В этих случаях предусмотрено применение формализованных процедур определения вероятностей, исходя из дискретных описательных значений: «очень высокая», «высокая», «средняя» и т. д. Отдельным событиям, составляющим часть процесса обнаружения переключения, описательное значение вероятности присваивается на основании экспертных оценок. Введены алгоритмы, которые дают возможность оперировать с описательными вероятностями. Устанавливается соответствие описательного значения вероятности обычному числовому, позволяющее переходить от числового значения к описательному и наоборот. Например, «очень высокая» вероятность соответствует диапазону числовых значений от 0,9 до 1 (среднее значение 0,95), «высокая» — от 0,7 до 0,9 и т. п.

Категоризация путей переключения. Вся совокупность путей переключения подразделяется на три уровня технической сложности действий государства по переключению: легко реализуемые, представляющие особую опасность, если они не покрыты применением гарантий;

более сложно реализуемые, требующие значительных усилий по изготовлению специального оборудования, подмене материала и т. п.;