

Американо-японский семинар по проектированию, эксплуатации и использованию импульсных быстрых реакторов

Семинар был организован американским Национальным советом по науке и японским Обществом содействия науке и проходил в Лаборатории ядерных исследований Токийского университета в Токай-мура (приблизительно в 100 км от Токио) с 19 по 23 января 1976 г. Япония была представлена 11 участниками и 18 наблюдателями, США — 7 участниками; были приглашены также ученые и других стран: от Франции и СССР — по 2 участника, от Англии — 1 участник.

Представленные на семинаре доклады (всего 35) были посвящены проектированию, расчету и исследованиям импульсных быстрых реакторов как самогасящего (типа реактора «Godiva»), так и периодического действия с внешним гашением импульса. К последнему типу, кроме реакторов ИБР-30 и ИБР-2 в Дубне, относится и недавно пущенный в эксплуатацию (в конце 1975 г.) японский реактор YAYOI. Участники семинара смогли подробно ознакомиться с этим оригинальным реактором по многочисленным докладам японских ученых (Х. Вакабаяши, Ш. Ан и др.) и непосредственно во время его осмотра. Реактор YAYOI имеет компактную активную зону из металлического высокообогащенного урана (критическая масса около 28 кг) и толстый отражатель из обедненного урана и свинца. Оснащенный пятью системами быстрого и медленного изменения реактивности и сложной системой управления и блокировок, реактор может работать в нескольких режимах: импульсном с периодическим повторением импульсов мощности, режиме одиночных всплесков, пульсации мощности по синусоидальному закону, в режиме постоянной мощности и в бустерном (т. е. как размножитель нейтронов внешнего импульсного источника). Интересно, что на реакторе YAYOI используются не применявшиеся ранее способы модуляции реактивности, а именно: циркуляция активного элемента, влияющего на реактивность, по замкнутому пневматическому контуру и прострел активного элемента (наилоновой «пули») сквозь реактор с помощью взрывного устройства периодического действия (типа пулемета). Минимальная длительность импульса мощности реактора 58 мкс. Максимальная мощность реактора в одиночном импульсе 1 ГВт, средняя мощность при непрерывной работе — 2 кВт (реактор охлаждается воздухом).

Другая интересная особенность YAYOI состоит в том, что он установлен на рельсах и может быть перемещен в любое из четырех мест для работы с одним из экспериментальных устройств — тепловой колонной,

спектрометрами по времени пролета и времени замедления в свинце, криостатом для облучения при низких температурах и др. Назначение реактора — фундаментальные исследования по ядерной физике и физике конденсированного состояния, прикладные работы по биологической защите и дозиметрии быстрых нейтронов, борная терапия.

Интересным было сообщение Д. Рошера (США) о пусковых испытаниях нового американского импульсного реактора самогасящего действия SPRIF. Он предназначен для внутризонного облучения образцов нейтронами флюенсом до $6 \cdot 10^{14}$ нейтр/см²; диаметр полости для облучения 18 см. В одном из докладов Д. Рошера предложен метод определения целостности тепловыделяющих элементов по характеру колебаний после импульса мощности.

Доктор Р. Лонг (США) сделал обзорный доклад о шести действующих в настоящее время в США быстрых импульсных реакторах, остановившись на особенностях конструкции, параметрах и тематике использования. В частности, Р. Лонг сообщил о том, что исследования по генерации когерентного света «ядерной накачкой» занимают 20% времени работы американских импульсных реакторов. О программе исследований по созданию реактора-лазера в США сообщил в своем докладе доктор К. Том (NASA).

В докладе, представленном Объединенным институтом ядерных исследований (Дубна, СССР), Д. И. Блохинцев рассказал о принципах аварийной защиты реактора ИБР-2, пуск которого ожидается в конце 1976 г., и об экспериментальных работах по проверке ядерной безопасности реактора. Доклад вызвал большой интерес.

Несколько сообщений сделали японские ученые о проекте импульсного источника нейтронов — бустере на основе линейного ускорителя электронов. Характеристики источника близки к характеристикам ИБР-2, средняя мощность 2 МВт.

Отдельные сессии семинара были посвящены аппаратуре и методам контроля импульсных реакторов, ядерной безопасности, применению импульсных реакторов; последняя тема, однако, была представлена мало.

Из принятых резолюций можно выделить решение о регулярном (раз в 2 года) проведении семинара по теме импульсных реакторов с более широким представлением докладов по их использованию. Труды семинара будут изданы в первой половине 1976 г.

ШАБАЛИН Е. П.

Симпозиум по обращению с радиоактивными отходами ядерного топливного цикла

22—26 марта 1976 г. в Вене проходил Международный симпозиум по обращению с радиоактивными отходами ядерного топливного цикла, организованный МАГАТЭ и Агентством по ядерной энергии (NEA) Организации экономической кооперации и развития

(ОЕСД). В нем участвовало более 350 специалистов из 32 стран и шести международных организаций.

Радиоактивным отходам уделяется пристальное внимание. Об этом свидетельствует все расширяющийся перечень отходов, которые будут подвергаться пере-

работке, а также увеличение бюджетов на их исследование и переработку.

Доклады Симпозиума охватывали практически все вопросы, связанные с отходами ядерного топливного цикла, но наибольшее внимание как по количеству заслушанных (21), так и по реакции участников было уделено обращению с высокоактивными отходами и особенно представленным технологическим схемам их отверждения. В докладах подчеркивалось, что, хотя в настоящее время удаление газообразных радионуклидов (криптона, йода и др.) не представляет серьезной опасности, целесообразно в связи с возможным превышением предельно допустимых доз вблизи перерабатывающих заводов развить методы их сбора и хранения. Разрабатываемые процессы очистки воздушных сбросов предусматривают выделение йода путем сорбции его на силикагеле, импрегнированном солями серебра, или на молекулярных ситах после окисления. Далее проводится криогенное разделение криптона и ксенона, которые предполагается хранить под давлением в емкостях из нержавеющей стали.

Основной тенденцией в обращении с высокоактивными отходами является их переработка в боросиликатные стекла. В связи с этим ведущие страны разрабатывают технологию остекловывания отходов для применения ее в промышленном масштабе в 1977—1987 гг. В докладах представителей США, Англии, Франции и ФРГ приводились результаты работ опытных и полупромышленных установок, а также проекты будущих установок остекловывания высокоактивных отходов. Так, во Франции создан непрерывный двухстадийный процесс остекловывания, состоящий из кальцинации во вращающейся барабанной печи и плавления в тигле из инконеля с индукционным обогревом. Процесс проверен на опытной установке, функционировавшей с 1972 по 1975 гг. Новая установка для работы на реальных отходах будет введена в 1977 г.

Следует подчеркнуть изменение отношения Англии и США к остекловыванию высокоактивных отходов. Так, специалисты Англии, убедившись в преимуществе этого метода, после 1972 г. пересмотрели свои взгляды и в настоящее время интенсивно разрабатывают одностадийный тигельный процесс «Харвест». Исследовательские работы планируется закончить к 1977 г. Строительство установки по переработке отходов предполагается начать в 1979 г., а ее эксплуатацию — в 1986 г. США, которые были сторонниками кальцинации высокоактивных отходов и хранения их в таком виде, теперь считают, что в связи с большими достижениями в остекловывании можно говорить о конкурентоспособности этого метода. В США продолжаются поиски оптимизированной схемы переработки высокоактивных отходов. С этой целью в Pacific Northwest Laboratory по заданию Управления по исследованию и развитию энергетики США осуществляется программа WFP, являющаяся продолжением предыдущей WSEP, направленной на развитие технологических процессов и демонстрацию их в полномасштабной схеме отверждения отходов. Представленные схемы предусматривают двухстадийный процесс кальцинации: испытывались распылительная сушилка, аппарат сушки и кальцинации в кипящем слое и горизонтальный тонкопленочный испаритель. Стадия плавления проверялась в трех вариантах аппаратов — плавление в емкости, в непрерывном металлическом плавителе и керамическом плавителе прямого нагрева (тепло генерируется за счет прохождения тока

в расплаве стекла). На основании проведенных работ разрабатывается и проектируется установка по отверждению отходов, образующихся при переработке твэлов на заводе производительностью 5 т в день. Оборудование для отверждения предусматривает дистанционность управления процессом, возможность его замены, полную систему очистки отходящих газов и камеру дезактивации удаляемого оборудования.

Планируемая в настоящее время интегральная система отверждения включает кальцинацию в кипящем слое или распылительной сушилке и плавление в емкости. Однако в будущем возможна замена плавления в емкости плавлением в керамическом плавителе или проведение процесса остекловывания в одну стадию в керамическом плавителе.

Работавшая в Айдахо (США) с 1963 г. установка кальцинации в кипящем слое в настоящее время остановлена из-за коррозии аппаратуры, трудности ее дезактивации и облучения персонала. Сейчас разрабатывается новая установка большей производительности (11,4 вместо 0,8 м³ в день) с защитой и манипуляторами для очистки и замены часто выходящего из строя оборудования. Отверждение отходов на новой установке предполагается начать в июле 1980 г.

Продолжаются работы по усовершенствованию конструкции опытной двухстадийной установки «VERA» в ФРГ, пуск которой на реальных отходах, намечаемый ранее на 1976 г., задержан из-за трудностей лицензирования в ФРГ.

Большой интерес и оживленную дискуссию вызвали доклады представителей СССР о технологических разработках процесса остекловывания (двухстадийного «КС-КТ» и одностадийного «электроварка»). Они показали, что СССР в области создания высокопроизводительного непрерывного процесса остекловывания находится впереди.

Как показало обсуждение методов захоронения высокоактивных отходов, в настоящее время большинство стран намерено хранить отвержденные отходы в течение 30—50 лет в контролируемых поверхностных хранилищах с воздушным или водяным охлаждением. Следует отметить появление в разных странах широких программ по исследованию возможности захоронения отвержденных отходов в геологические формации (пластовые соли, соляные купола, известняки, граниты, другие кристаллические и вулканические породы).

Параллельно с технологическими проработками процессов отверждения отходов проводятся работы по изучению свойств остеклованных высокоактивных отходов (термическая устойчивость, воздействие α -, β -, γ -излучений) и возможности получения прочных керамических материалов из них.

Ряд докладов был посвящен обращению с α -излучающими отходами, отходами низкого и среднего уровня активности.

Симпозиум показал, что в целом в обращении с отходами ядерного топливного цикла наблюдается стремление к сокращению их объемов как на стадии образования, так и при дальнейшей переработке, а также к четкому разделению по активности и химическому составу. Вопрос переработки, хранения и захоронения для каждой категории отходов решается отдельно, при этом смешение различных категорий считается нежелательным.

Материалы Симпозиума намечено издать в сентябре 1976 г.

КРЫЛОВА Н. В., МАРТЫНОВ Ю. П.