

Симпозиум «Международные гарантии-78»

2—6 октября 1978 г. в Вене (Австрия) проходил международный симпозиум по постановке под гаранции ядерных материалов. В пленарных заседаниях участвовали более 400 чел. из 32 стран и 5 международных организаций, которые представили на обсуждение более 120 докладов (из них 8 докладов советских специалистов).

Доклады рассматривались по таким направлениям: критерии проектирования установок для облегчения применения международных гарантит;

электронная обработка информации по гарантитам; применение гарантит на установках по изготовлению тзвлов и энергетических реакторах;

сохранение ядерных материалов и наблюдение за ними;

деструктивные и недеструктивные методы измерений;

оценка данных по гарантитам;

усовершенствованные концепции и системы контроля ядерных материалов;

уран-ториевые топливные циклы;

переработка отработавшего топлива.

При обсуждении докладов стали очевидными причины столь высокого интереса к симпозиуму, которые сводились к следующему.

Прогрессирующее внедрение ядерной технологии в различные направления науки и техники (в первую очередь, при производстве электроэнергии и в технологических процессах) вызывает рост общего количества ядерных материалов в странах мира. Это влечет за собой повышенный интерес к стратегии применения процедур гарантит и приводит к заметному увеличению инспекций на установках, где находятся ядерные материалы. Так, в 1971 г. было проведено 234 инспекции, в 1974 г.— 474, в 1977 г.— 706 инспекций в 45 странах.

На симпозиуме в Карlsruhe в 1970 г. рассматривались работы по применению процедур гарантит в основном только для реакторов, в 1975 г. к ним добавились установки, связанные с технологией низкообогащенного урана. На симпозиуме 1978 г. были обсуждены вопросы по применению процедур гарантит ко всем звеньям ядерного топливного цикла.

Учитывая, что ядерные материалы обладают такими особенностями, как высокая и постоянно возрастающая стоимость, опасность в обращении и возможность их использования в террористических целях, большинство стран пришло к выводу о необходимости введения централизованных систем учета и контроля за их использованием в масштабах государств. Национальные системы учета и контроля разрабатываются на основе накопленного опыта, в первую очередь международными организациями. В наиболее концентрированном виде опыт учета и контроля ядерных материалов обобщен в системе гарантит МАГАТЭ, принципы которой признаны более эффективными, чем положенные в основу национальных систем учета некоторых стран. В настоящее время при создании национальных систем используются такие разработки МАГАТЭ, как процедуры учета ядерных материалов; представления учетной информации; передачи и обработка информации; анализа баланса ядерных материалов, а также процедуры и методы проверки представляемой информации.

Характерными моментами, проявившимися при обсуждении применения процедур гарантит на предприятиях ядерного топливного цикла, являлись точка зрения о необходимости использования при проекти-

ровании установок конструктивных решений и устройств, обеспечивающих эффективное применение гарантит, а также пожелание включить в информацию по отработавшему топливу не только данные о содержании изотопов урана и плутония, но и трансплутониевых элементов.

Несомненный интерес представляют доклады о применении гарантит на различных установках по обогащению урана: для проекта завода в ФРГ, использующего метод сопла (производительность 200 т е.р.р./год), газодиффузионного завода «Евродиф» во Франции (производительность $10,8 \cdot 10^6$ е.р.р./год) и центробежной установки в Нингё-Тогэ в Японии (номинальная производительность 50 т е.р.р./год). Схема применения гарантит, предложенная японскими специалистами, предусматривает «закрытую» зону для технологического оборудования и две зоны баланса ядерного материала (первая — склад Гексафорида урана и вторая — площадь технологического оборудования) с различными ключевыми точками измерения. Наиболее важные из них должны точно контролировать потоки питания, легкой и тяжелой фракций, концентрацию изотопов урана. По мнению французских специалистов, особое внимание необходимо обратить на контроль получений и отправлений ядерных материалов с завода и контроль, позволяющий установить, что все перемещения ядерных материалов проходят через зону контроля, в действующий каскад не внесено никаких изменений и не появилось никакой дополнительной установки в зоне завода.

Японские специалисты на основании анализа работы установки с использованием пурекс-процесса производительностью 0,7 метрических т/сут урана и возможностью ведения процесса как с циркониевыми, так и со стальными оболочками предложили для учета и контроля на заводах по переработке отработавшего топлива применять три зоны баланса материалов. В первую, являющуюся зоной, где регистрируются расхождения в данных отправителя и получателя, включены склад отработавшего топлива, камеры механической обработки, растворитель, очистительные объемы и входной мерный сосуд, во вторую — помещения для химических процессов, обработка отходов, аналитическая и технологическая лаборатории, в третью — складские помещения для хранения объемов с плутонием и ураном. Ключевые точки измерения в соответствии с материально-балансовым подходом находятся по двум основным критериям: определение потоков ядерного материала (9 точек) и физической инвентаризации (7 точек).

Часть докладов была посвящена разработке точных методов определения количества ядерных материалов и их концентрации в подотчетных емкостях. При использовании комбинации различных методов (изотопное разбавление и изотопные корреляции) погрешность определения составляла менее 1%. Большое внимание было уделено применению для контроля метода изотопных корреляций, установлению аналитических соотношений между степенью выгорания топлива, концентрацией изотопов урана и плутония, а также их отношениям. Дальнейшее усовершенствование метода, повышение его точности, вероятно, будет возможно на основе базы данных ESARDA, который должен собирать экспериментальные данные в этой области.

Серьезную проблему для разработки процедур гарантит в связи с высокой концентрацией делящихся

изотопов в образцах с тепловыделяющими сборками представляют быстрые критические сборки и реакторы. В докладах этого направления рассматривались различные варианты обеспечения контроля и инспекции на критических сборках с высокообогащенным топливом, позволяющие за короткое время надежно определять несанкционированное изъятие значимых количеств ядерных материалов. Большое внимание было уделено необходимости создания комплексной системы контроля и мониторинга при перемещении делящихся материалов с использованием нейтронных и гамма-детекторов со стандартными методами наблюдения, сохранения учета, используемыми в настоящее время инспекторами МАГАТЭ.

Большой интерес участников симпозиума вызвал обзорный доклад В. М. Грязева (СССР), в котором были изложены результаты исследования применения новых физических методов и процедур контроля ядерных материалов на примере критической сборки «Спектр» и БОР-60.

Подводя итоги симпозиума, можно сказать, что на нем наиболее явно проявилась тенденция разработки процедур гарантий для учета и контроля делящихся ядерных материалов всего топливного цикла от добычи урана до захоронения радиоактивных отходов.

БАБАЕВ Н. С

Советско-американское совещание «Высокочастотный нагрев плазмы в тороидальных системах»

В настоящее время ВЧ-методы нагрева плазмы в замкнутых системах развиваются в основном в диапазонах частот циклотронного, нижнегибридного и ионно-циклотронного резонансов, а также МГД-резонансов. Эти направления развиваются как в СССР, так и в США. Сравнение перспективности указанных методов нагрева плазмы было одной из главных тем, обсуждавшихся на совещании, которое состоялось в июне 1978 г. в Сухуми. По общему мнению, в настоящее время нельзя отдать предпочтение какому-либо направлению, и все четыре метода должны исследоваться.

В обзорном докладе Дж. Виллиса была дана развернутая программа американских исследований по ВЧ-нагреву плазмы в токамаках. Почти на каждом токамаке, имеющемся или проектируемом, используются ВЧ-методы нагрева. Пока в термоядерной программе США предпочтение отдается нагреву плазмы инжеクцией быстрых атомов. В настоящее время начаты эксперименты по ионно-циклотронному нагреву на установке PLT. В случае получения обнадеживающих результатов на TFTR предполагается соорудить комплекс такого нагрева полной мощностью ~ 50 МВт. Ориентировочная стоимость проекта ~ 30 — 50 млн. долл. Сейчас обсуждается проект применения ионно-циклотронного нагрева на установке ALCATOR с параметрами: частота $f = 200$ МГц, мощность $P = 2$ — 4 МВт. Начата подготовка таких экспериментов на установках «Макротор», «Калтекс» и «Токаполь».

Электронно-циклотронный нагрев плазмы в токамаках применяется только в СССР. Это обусловливается тем, что мощные генераторы миллиметрового диапазона волн (гироскопы) разработаны в нашей стране. Проблемы, связанные с созданием таких генераторов для электронно-циклотронного нагрева, обсуждались в докладе, представленном сотрудниками ИПФ АН СССР и ИАЭ им. И. В. Курчатова. В 1978 г. фирма «Вариан» (США) разработала импульсный гиротрон частотой 28 ГГц и мощностью 200 кВт. Ведется подготовка к экспериментам с такими генераторами на установках «Элмо-Бампи», «Торус», ISX и «Микротор». На установке ЭВТ сооружается комплекс полной

мощностью 2 МВт, который будет работать в непрерывном режиме.

Обзор экспериментов по нагреву плазмы в диапазоне частот нижнегибридного резонанса на американских установках ATC, ALCATOR и DOUBLET II, сделал С. Бернабей. В экспериментах до большей энергии нагревают небольшую группу ионов с сравнительно малым временем жизни. На установках TM-3 (СССР) и DOUBLET II при использовании системы возбуждения сильно замедленных волн наблюдается эффективный нагрев электронного компонента. В экспериментах на установке FT-1 (СССР) наблюдался нагрев как ионов, так и электронов основного компонента плазмы в режиме, когда в центральных областях плазменного шнуря выполнялись условия нижнегибридного резонанса. Имеются проекты экспериментов по такому методу нагрева плазмы на PLT ($P \approx 1$ МВт), ALCATOR-C ($f = 4000$ МГц, $P = 4$ МВт) и DOUBLET III ($P \approx 5$ — 10 МВт). Стоимость эксперимента на установке DOUBLET III ориентировочно оценивается в 10—20 млн. долл.

В докладе, представленном Дж. Татаронисом, рассматривалось возбуждение и затухание альфвеновских волн в неоднородной плазме. В США эксперименты в этом диапазоне частот ($f < f_{i.p.}$) были проведены на установке «Прото-Клео». При вводимой мощности 100 кВт и плотности плазмы $2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ наблюдался нагрев как ионов, так и электронов. Более интенсивный нагрев ионов получен на установке P-02 (СССР). Средняя по сечению ионная температура достигала 300 эВ при плотности плазмы $5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Эффективность нагрева составляла 70%. В США такие эксперименты планируется провести на установке Калифорнийского технологического института в 1979 г.

На заключительном заседании участники совещания пришли к единодушному мнению, что в ближайшие 2—3 года следует ожидать существенного прогресса в исследованиях по СВЧ- и ВЧ-нагреву плазмы в замкнутых системах.

АЛИКАЕВ В. В.