

Симпозиум по экспоненциальным и критическим экспериментам

В сентябре 1963 г. в Амстердаме проходил организованный МАГАТЭ симпозиум по экспоненциальным и критическим экспериментам. В его работе приняли участие около 200 ученых из 29 стран, а также представители МАГАТЭ, Евратома и Европейской ассоциации по ядерной энергии; было представлено 67 докладов, которые были заслушаны на девяти пленарных заседаниях.

Советская делегация была представлена В. А. Кузнецовым, К. А. Коноплевым и Г. Л. Луниным. Все советские делегаты выступили с докладами, вызвавшими большой интерес среди участников. Доклад В. А. Кузнецова «Критический эксперимент как средство выявления физических особенностей реактора» был посвящен рассмотрению сравнительных возможностей экспоненциального и критического экспериментов, анализу тенденций в развитии критических экспериментов и перспектив различных экспериментальных методик. Большой интерес представило подробное экспериментальное обоснование возможности изучения физических характеристик реактора при помощи подкритической вставки из ячеек исследуемого состава в критическом ансамбле, описанном в докладе И. М. Кисиля, Б. Г. Дубровского, А. В. Камаева, Л. А. Герасевой и Ю. Ю. Глазкова «Роль критических экспериментов в проектировании первой в мире АЭС и Белоярской АЭС». Большое внимание было уделено докладу М. Н. Николаева, А. В. Звонарева, М. Ю. Орлова, В. И. Голубева и О. П. Узнадзе «Исследование подпора нейтронного потока в зонах воспроизводства, создаваемого дополнительными отражателями из различных материалов». Результаты экспериментов на критическом стенде по изучению различных рабочих конфигураций активной зоны исследовательского реактора ВВР-М были приведены в докладе группы ленинградских ученых, представленном К. А. Коноплевым. В докладе Г. Я. Андрианова, В. А. Вознесенского и др. «Исследование физических свойств активной зоны ВВЭР на критических сборках», доложенном одним из авторов Г. Л. Луниным, были представлены интересные результаты исследований физических характеристик смешанных критическихборок с крупномасштабной гетерогенностью и выявлен закон усреднения нейтронно-физических параметров в таких сборках.

Из докладов иностранных ученых наиболее интересными были доклады американских, английских и французских ученых.

На основании докладов, выступлений руководителей делегаций, а также бесед с делегатами других стран можно сделать ряд выводов. Прежде всего следует отметить, что во всех случаях при создании физических стендов наблюдается тенденция к универсализации установок с возможностью исследования на них физических характеристик энергетических реакторов разного типа (например, установки ZPR-3, 6, 7, 9 в США, VERA в Великобритании, «Мазурка» во Франции). Причем конструкции стендов предусматривают возможность проведения как подкритических, так и критических экспериментов и во многих случаях возможность проведения экспериментов с активными зонами или группой элементарных ячеек, нагретыми до высоких температур (500, 1000° С, а иногда и до 2000° С). Описанию такого рода стендов, их оборудования и экспериментальных возможностей и программ исследова-

ний были посвящены доклады, представленные У. Редманом, Р. Хейнманом, Р. Мак-Уином, П. Финшером, Т. Энгелдером (США), Д. Уилом, Д. Муром (Великобритания), Ф. Сторрером (Франция), Г. Грюммом (Австрия), И. Сакураи (Япония) и др.

При исследовании физических характеристик больших реакторов довольно широко используется метод замещения, т. е. проведение экспериментов на двухзонных реакторах, когда группа элементарных ячеек исследуемой композиции для достижения критичности окружается зоной другого состава. Дальнейшее развитие получила известная методика PCTR, доложенная Р. Хейнманом на Второй Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии. Двухзонным экспериментам и экспериментам PCTR уделено большое внимание в докладах Р. Хейнмана, Т. Энгелдера (США), А. Уорда (Канада), Р. Перссона (Швеция), Г. Гасини (Италия) и др.

В последнее время проявляется тенденция к повышению в больших тепловых реакторах, производящих плутоний, энергонапряженности горючего в активной зоне и температур теплоносителя за счет использования тепловыделяющих элементов с развитой поверхностью (реакторы в Ханфорде, Уиндсейле) и применения кипящей воды, пара и органических жидкостей в качестве теплоносителя (реакторы в Чолк-Ривере). Об опытах с такого рода решетками говорилось в докладах Р. Хейнмана, Д. Петерсона, У. Грейвса (США), А. Уорда и Д. Мура.

В исследованиях физических характеристик больших быстрых реакторов все большее внимание уделяется изучению свойств разбавленных (оксидных и карбидных) систем. Ведутся опыты с большими плутониевыми сборками. Исследуется температурный коэффициент реактивности и в первую очередь эффект Допплера.

Существенное внимание уделяется в последнее время исследованию возможности использования тория для воспроизводства ядерного горючего. На симпозиуме было представлено несколько докладов об экспериментальных исследованиях цикла U — Th на критических сборках.

Изучению вопросов физики использования той или иной схемы реактора с кипением и ядерным перегревом пара отводится заметное место в программе критических экспериментов. Среди докладов, посвященных этому вопросу, можно выделить доклад, представленный Д. Петерсоном.

Следует остановиться на тенденциях в современных экспериментальных приборах и методиках, используемых на критических сборках.

Широкое использование импульсных источников нейтронов в сочетании с подкритическими и критическими сборками позволяет с высокой точностью определять глубокие подкритичности (до 20% в эффективном коэффициенте размножения нейтронов), измерять параметры диффузии нейтронов в среде, изучать спектры нейтронов в реакторах. Различным применениям импульсного нейтронного источника было посвящено около 20 докладов. Наиболее интересные экспериментальные результаты, полученные этим методом, доложили Р. Мак-Уин, Д. Петерсон (США), Д. Уил, Д. Мур, М. Харрис (Великобритания), М. Саго (Франция). Интересное усовершенствование метода импульсного источника за счет анализа перекрестной корре-

ляции входного и выходного сигналов было предложено в докладе Р. Урига (США). В докладе Д. Петерсона сообщалось об использовании импульсных источников для измерения степени подкритичности отработанных активных зон энергетических реакторов в γ -полях интенсивности свыше 10^6 р/ч. Чрезвычайно перспективными представляются статистические методы измерения времени жизни нейтронов. Интересный и полный анализ таких методов, используемых в Аргоннской национальной лаборатории в США, был дан Ч. Коном.

Много места в докладах уделялось вопросам измерения энергетического спектра нейтронов. Механический селектор нейтронов стал стандартным оборудованием критических сборок. Интересно отметить, что на английском быстром реакторе нулевой мощности VERA, как об этом доложил Д. Уил, селектор нейтронов в сочетании с импульсным источником нейтронов предполагается использовать для измерения спектра нейтронов до энергий в несколько десятков *кэв* при пролетной базе 50 м. Большое внимание в настоящее время уделяется исследованию спектра нейтронов в области 3 *кэв* — 30 *эв*, с которой связан эффект Доплера в температурном коэффициенте реактивности. Большой интерес представляет использование твердого Li^6 -спектрометра с кремниевыми полупроводниковыми детекторами для измерения в критической сборке спектра быстрых нейтронов. Об этом сообща-

лось в докладе Ч. Кона. Интересное сообщение о новых измерениях спектров тепловых нейтронов, об исследовании явления ретермализации спектра при нарушении термической или пространственной непрерывности среды было сделано английским ученым М. Пулом.

Дальнейшее развитие получила осцилляционная техника. Эта техника используется, например, для измерения доплеровского температурного коэффициента (в том числе доклад П. Фишера, США), в исследованиях изменения сечений поглощения Σ_a и сечения производства нейтронов $\nu\Sigma_f$ в урановых образцах, облученных в разных условиях (доклад Р. Видаля, Франция), и т. п.

Обращает на себя внимание широкое использование радиохимических методов в физических опытах на критических стендах. Чувствительность этих методов доведена до 10^7 делений или захватов нейтронов.

В заключение состоялась дискуссия, на которой представители пяти делегаций: А. Уорд (Канада), Р. Хелленс (США), А. Хитчкок (Великобритания), В. Кузнецов (СССР) и Д. Бретон (Франция) — выступили с обобщением результатов симпозиума по отдельным направлениям и отметили тенденции в их развитии.

Предполагается издание полных трудов симпозиума. Их издание организует МАГАТЭ.

В. А. Кузнецов

IV Международная конференция по неразрушающим методам контроля

Конференция была организована Британским национальным комитетом по неразрушающему контролю; проходила она в Лондоне в сентябре 1963 г. В работе конференции участвовало около 100 делегатов от 10 стран. Доклады были предварительно отпечатаны, и на конференции слушался лишь их краткий обзор и проводилось обсуждение. Всего обсуждался 51 доклад.

Основные направления конференции: радиография; ультразвуковые методы дефектоскопии, измерения толщины и исследования материалов; методы вихревых токов; дефектоскопия инфракрасными лучами.

Аверяд и Шерри (Харуэлл, Великобритания) представили доклад о разработке иммерсионного варианта ультразвукового прибора для измерения толщины стенок труб. Пределы измерения 0,12—0,65 мм, точность около 5 мк при диаметре труб 6 мм и более. Требуемая для измерения площадь около 1,5 мм². Указывается, что этот прибор может быть с успехом применен для контроля сцепления двух материалов.

Второй доклад, представленный исследовательским центром в Харуэлле, посвящен развитию радиографических и ультразвуковых методов контроля баков высокого давления для ядерных реакторов.

Маккланг и Кук (Ок-Ридж, США) представили доклад об определении ультразвуковым методом сцепления оболочек с сердечниками твэлов. Контроль производится в основном иммерсионным методом, в качестве преобразователей используют кварц, сульфат лития или титанат-цирконат свинца. Для контроля пластинчатых твэлов толщиной от 0,13 до 2,8 мм применялся теневой метод при частотах ультразвука 2,25—5,0 Мгц. Перо самописца механически связано

с движением твэла, так что при записи получается диаграмма, на которой видны зоны несцепления. Минимальный диаметр несцепленной зоны, обнаруживаемой аппаратурой (чувствительность), составляет 0,8—3,0 мм в зависимости от типа твэла. Для контроля теплообменников сложной формы применялся метод ультразвукового отражения, позволяющий судить о качестве сцепления по форме отраженного импульса. Чувствительность около 1,5 мм, частота 10 Мгц. Для изделий с переменной толщиной оболочки, а также для контроля сцепления оболочки в облученных твэлах с успехом применялась контактная резонансная техника. Чувствительность ~5 мм. При контроле сцепления внутренней оболочки в трубах теплообменников применялся миниатюрный датчик, состоящий из приемника и передатчика, расположенных под углом и разделенных перегородкой. Чувствительность ~0,8 мм.

Додд доложил о применяемых в Ок-Ридже методах контроля вихревыми токами. Измерение внутреннего диаметра труб в интервале от 5 мм и более осуществлялось с точностью $\pm 0,025$ мм, а зазор между пластинами плоских твэлов, составляющий более 0,75 мм, контролировался с точностью $\pm 0,012$ мм, кроме того, производилась проверка облученных твэлов в горячей камере. Измерение толщины металлических стенок производилось методом вихревых токов с фазовой отстройкой от воздушного зазора при одностороннем и двустороннем расположении катушек. В последнем случае получают линейную зависимость сигнала от толщины.

Третий доклад этой лаборатории посвящен оценке материалов для реакторов по степени ослабления рентгеновских и γ -лучей.