

Конференции и совещания

Международный симпозиум по физике быстрых реакторов

Симпозиум состоялся в Токио 16—19 октября 1973 г. Он был организован Японской корпорацией по разработке энергетических реакторов и ядерного горючего (PNC) в сотрудничестве с рядом японских организаций и при поддержке МАГАТЭ.

В работе симпозиума приняли участие 116 японских ученых и 44 иностранных делегата из 10 стран и трех международных организаций. Было представлено 76 докладов, из них 12 — советскими специалистами.

Обсуждались следующие основные вопросы: состояние работ по физике быстрых реакторов (семь обзорных докладов); физические исследования на быстрых реакторах (шесть докладов, в которых отражены основные результаты работ, проведенных на реакторах БОР-60, БН-350, «Феникс», EBR II, YAYOI, EFFBR); проблемы проектирования быстрых энергетических реакторов (14 докладов); эксперименты на критических сборках (20 докладов); ядерные данные и методы расчета (22 доклада); спектры нейтронов и коэффициенты реактивности (7 докладов).

На секции «Физические эксперименты на реакторах» наибольший интерес вызвали доклады об исследованиях физических характеристик реакторов БН-350, БОР-60 (В. В. Орлов и др. и В. М. Грязев и др., СССР) и «Феникс» (П. Клозон и др., Франция).

Следует отметить хорошее согласие расчетного и экспериментального значений критических загрузок. Так, для реактора БН-350 критическая масса была достигнута при загрузке 202 пакетов (расчетное значение 200 ± 10 пакетов), для реактора «Феникс» она достигнута при загрузке 87,5 пакетов (расчетное значение — 81 ± 7). В докладе французских специалистов сообщается, что в случае успешной эксплуатации реактора «Феникс» в 1975 г. будет начато строительство большой АЭС с быстрым реактором на 1200 Мвт (эл.).

В докладе Д. Менегетти и др. (США) обсуждались результаты измерений на реакторе EBR II (выгорание, эффекты реактивности, скорости реакций и т. д.). Эти исследования в значительной степени связаны с изменением назначения самого реактора — превращением его из демонстрационного в реактор для облучений. С. Тамура и др. (Япония) описали эксперименты на первом японском быстром исследовательском реакторе. Этот реактор начал работать в 1971 г., имеет воздушное охлаждение, металлическое урановое горючее (обогащение 93%), мощность 2 кВт. На реакторе ведутся работы по изучению физики реакторов, защиты, детекторов быстрых нейтронов и т. д. Кроме того, реактор используется для обучения студентов и подготовки эксплуатационного персонала. В будущем он будет работать в импульсном режиме совместно с линейным ускорителем.

На секции «Проблемы проектирования реакторов» большое внимание было уделено определению эффективности органов регулирования и влияния их взаимного расположения на поле тепловыделения (Н. Е. Горбатов и др., СССР; Дж. Остин, Англия; М. Билло и др., Бельгия; П. Гриблер, США). Изменения реактивности реактора при частичном расплавлении горючего в активной зоне были рассмотрены в докладах А. Ренарда и др. (Бельгия) и П. Коллинса (Англия). Отмечено, что расчеты не согласуются с экспериментальными данными, полученными на критических сборках.

Из докладов С. Ииджимы и др. и Х. Накагавы и др. (Япония) следует, что критическая масса, энерговыделение, вес стержней СУЗ рассчитаны с удовлетворительной точностью. В то же время эффекты реактивности, связанные с удалением натрия и горючего, могут быть предсказаны с недостаточной точностью. В ряде докладов указано на необходимость тщательных исследований сечений для продуктов деления, высших изотопов плутония, абсолютных величин реактивностей горючего и поглотителей.

На секции «эксперименты на критических сборках» в шести докладах К. Кемпелла и др., С. Кобаяши и др., Дж. Инграма и др., А. Брумфила и др. изложены результаты работ по совместной англо-японской программе MOZART. Она была осуществлена на критической сборке ZEBRA и связана с проектированием реакторов PFR (Англия) и MONJU (Япония). За 18 месяцев изучены три критические сборки, по составу близкие к реактору MONJU. Последняя критическая сборка содержала 960 кг ^{239}Pu . Расчеты проводились по двумерной диффузионной программе с 37 группами; групповые сечения готовились по программе MURAL на основе библиотеки данных FGL-5. Критическая масса предсказана с погрешностью $\pm 0,3\%$; отношения сечений деления ^{238}U и ^{235}U к сечению деления ^{239}Pu составили 2 и 3% соответственно; наибольшая погрешность пространственного распределения захватов в ^{238}U отмечена в зоне воспроизводства, где она достигает $\sim 6\%$. Расчетная эффективность компенсаторов (x, y — геометрия, 9 групп, диффузионное приближение) оказалась на 5—15% выше экспериментальной. После введения поправок, связанных с приближениями расчетной модели, расхождения уменьшены до 5% при погрешности поправок $\sim 3\%$. Существенно, что точность предсказания абсолютной реактивности плутониевого образца лучше, чем 2%. Натриевый пустотный коэффициент реактивности может быть предсказан с погрешностями 10—20%.

Экспериментальные данные программы MOZART были проанализированы с использованием констант

JAERI — FAST и АББН. В частности, различными группами рассчитывались $K_{эф}$. Показано, что разброс значений $K_{эф}$, полученных в разных расчетах, достигает $\sim 1\%$; поправки на гетерогенность для моделирующей критической сборки варьируются от 1,1 до 1,8%. Результаты сравнения расчетных характеристик реакторов, полученных с помощью различных вариантов системы констант АББН, были изложены в докладе Р. В. Никольского и др. (СССР).

Основные работы на критических сборках во Франции в последнее время связаны с исследованиями высших изотопов плутония, продуктов деления, выгорания, тепловыделения за счет γ -излучения и ослабления нейтронов защитой (доклады Ж. Барре и И. Осере).

В докладах В. В. Орлова и др., В. А. Дулина и др., Э. А. Стумбура и др. (СССР) описаны расчетно-экспериментальные исследования модели реактора БН-600 на критическом стенде БФС-2. Проанализированы экспериментальные данные, полученные на критических сборках БФС и призмах реактора БР-1; приведены результаты исследований глубоких подкритических состояний с помощью импульсного метода.

В объединенном докладе М. Дарузе и др. (Англия, Франция, ФРГ) определены средние характеристики бесконечно протяженной среды с $K_{\infty} = 1$, состоящей из металлического урана. Эти характеристики получены в экспериментах на вставках на критических сборках ZEBRA (Англия), SNEAK (ФРГ) и ERMINE и HARMONIEUK (Франция). Для $K_{\infty} = 1$ концентрация в среде ^{235}U составляет $5,56 \pm 0,02\%$, $\frac{\sigma_c}{\sigma_f} = 0,0227 \pm 0,002$ и $\frac{\sigma_f^8}{\sigma_f^5} = 0,1154 \pm 0,0017$. Эти данные предлагается использовать в качестве международного стандарта для проверки основных сечений ^{238}U и ^{235}U . В докладе Р. Карам и В. Като (США) исследованы систематические погрешности определения абсолютных величин реактивности. Показано, что основные погрешности связаны с расчетом знаменателя в формуле теории возмущений ($\sim 8\%$) и с переводом величины реактивности из шкалы $\beta_{эф}$ в шкалу абсолютных величин $\Delta K/K$ ($\sim 12\%$). Сделан вывод о необходимости измерения зависимости доли запаздывающих нейтронов от энергии нейтронов, вызывающих деление, и о необходимости измерения $\beta_{эф}$ в критических сборках разными методами.

На секции «Ядерные данные и методы расчета реакторов и их развитие» рассматривались оценка данных, корректировка констант по результатам интегральных экспериментов, программы для расчета реакторов и программы перегрузки и перестановки топливных пакетов в быстром реакторе.

В США (С. Перлштейн) готовится новая версия библиотеки оцененных данных (ENDF/B IV), в которой в качестве опорного сечения используется сечение деления ^{235}U . В новой библиотеке оцененных данных будут содержаться законы рассеяния, данные о сечениях осколков деления и данные, необходимые для дозиметрического контроля. При получении новых оцененных данных учитываются результаты интегральных экспериментов. В докладах И. Кикуты (Япония) и М. Бустрана и др. (Нидерланды) оценены сечения осколков деления.

И. Кикуты показал, что использование различных наборов сечений для осколков деления влияет на расчетное значение $K_{эф}$ ($\sim 0,6\%$) и значение натриевого пустотного коэффициента реактивности ($\sim 10\%$). В докладах специалистов Израиля и ФРГ оценены сечения высших изотопов плутония и характеристики запаздывающих нейтронов. Новая оценка приводит к увели-

чению среднего расчетного времени жизни мгновенных нейтронов и $K_{эф}$.

В Англии, Италии, Франции и Японии проведена корректировка систем констант с использованием данных интегральных экспериментов. Новые системы констант FGL-5 и CADARACHE III используются в практике расчетов и хорошо описывают экспериментальные данные, получаемые на критических сборках. (Точность описания экспериментальных данных сравнима с точностью измерения интегральных характеристик.) Считается, что величина коэффициента воспроизводства для энергетического реактора может быть предсказана с точностью 3—5%.

В докладах В. Стейси и др. (США) и С. Какураги (Япония) описано состояние комплексов программ для расчета быстрых критических сборок и проектируемых реакторов. Особое внимание уделено многомерным диффузионным программам и организации взаимодействия программ в рамках комплексов.

С. Такеда и др. (Япония) описали трехмерную малогрупповую программу для расчета выгорания. Отмечено, что при расчетах по этой программе значение коэффициента воспроизводства уменьшается на 2% по сравнению с расчетом по двумерной программе. Уменьшение реактивности за счет выгорания оказалось вдвое меньше, чем в расчетах по двумерной программе.

Новые разновидности модели непрерывного замедления для расчета спектра нейтронов описаны в докладах Х. Ямамото и С. Ито (Япония).

Доклады В. И. Матвеева и др. (СССР), Р. Уилера, Д. Торито и др. (Англия) посвящены принципам составления программ перегрузок и перестановок горючего в реакторе. Рассматривается возможность автоматического составления программ перегрузок с помощью ЭВМ.

На секции «Спектры нейтронов и коэффициенты реактивности» Х. Нишихара и др. (Япония) и Ф. Каллер и др. (ФРГ) привели результаты исследований спектров нейтронов в чистых материалах для простой геометрии (железо, алюминий, торий, уран, смесь натрия с железом). Расчет дает заниженные потоки нейтронов в области сильных резонансов железа и натрия при энергиях ниже десятков килоэлектронвольт. Отмечается систематическое расхождение измеренных и рассчитанных спектров в области энергий выше 1 Мэв. Лучшее согласие эксперимента и расчета достигается в том случае, когда в расчетах сечение неупругого рассеяния железа уменьшается на 10—50% при энергиях ниже 3 Мэв, а сечение неупругого рассеяния ^{238}U уменьшается на $\sim 40\%$ в области 0,8—3 Мэв по сравнению со значениями, принятыми в библиотеках JAERI — FAST и KEDAK.

В докладе Дж. Сандерса и др. (Англия) проведен подробный анализ погрешностей при измерениях спектров нейтронов. Сделан вывод о необходимости повысить точность измерения нейтронных спектров для лучшего предсказания влияния эффекта Доплера в области энергий 300 эв — 300 кэв. Спектры нейтронов, рассчитанные с помощью системы констант FGL-5, хорошо описывают экспериментальные данные за исключением области энергий менее 1 кэв.

В докладе Ю. А. Казанского и др. (СССР) отмечено, что расчетные спектры нейтронов (система констант АББН) в области энергий менее 1—10 кэв лежат систематически ниже экспериментальных данных.

Доплеровский эффект реактивности для конструкционных материалов изучался японскими специалистами И. Ишигуро, Н. Мацуно и др. Для железа и нержавеющей стали он превышает доплеровский

эффект для ^{235}U и ^{239}Pu и составляет $\sim 20\%$ от эффекта для ^{238}U . Расчетные величины не согласуются с экспериментальными.

Участники симпозиума посетили Исследовательский центр JAERI в Токай-мура и Инженерный центр корпорации PNC в Оарай.

В Центре JAERI имеется быстрая критическая сборка FCA, на которой проводятся работы по изучению физики реакторов (измерения интегральных характеристик критическихборок, измерения эффекта Доплера и т. д.). В настоящее время планируются исследованияборок с металлическим плутониевым горючим. В Центре имеются также исследовательский быстрый реактор YAYOI и линейный ускоритель электронов на максимальную энергию 190 Мэв, на котором ведутся различные работы, в частности, начаты измерения полного сечения ^{238}U . Проводятся и термоядерные исследования (на установке типа токамак).

Работы Инженерного центра корпорации PNC в основном связаны с технологией натриевого теплоносителя и разработкой и испытаниями оборудования для энергетических быстрых реакторов. На натриевых стендах испытывается оборудование при малых расходах теплоносителя. Проводятся исследования с целью разработки методик обнаружения течей в парогенераторах; изучается взаимодействие натрия с водой при возникновении течей. Монтируется опытный образец парогенератора мощностью 50 Мвт, который будет испытываться в условиях, близких к рабочим. Успешно ведется строительство быстрого реактора JOYO (мощность 50 Мвт, теплоноситель — натрий); он должен быть пущен в 1975 г. На реакторе закончены строительные работы и ведется монтаж оборудования.

БЕЛОВ С. П., КАЗАНСКИЙ Ю. А., ОРЛОВ М. Ю.

Симпозиум МАГАТЭ по вопросам дозиметрии окружающей среды в районе ядерных установок

Симпозиум состоялся 5—9 ноября 1973 г. в Варшаве. В нем приняли участие 179 специалистов от 26 стран и 10 представителей международных и региональных организаций. От СССР участвовали пять человек.

В 63 докладах рассмотрены цели наблюдения за окружающей средой, предпусковые исследования, порядок проведения дозиметрии окружающей среды (нормальные и аварийные ситуации), интерпретация результатов наблюдений, научные исследования и вспомогательное изучение, примеры программ наблюдения за окружающей средой.

Во многих докладах отмечались преимущества применения атомной энергии по сравнению с другими видами энергии с точки зрения опасности для окружающего населения. Так, во вступительном докладе П. Пеллера-на сообщается, что в 1968 г. во Франции тепловые электростанции выбросили в атмосферу $1,5 \cdot 10^6$ т сернистого газа, $0,5 \cdot 10^8$ т окислов азота, 33 000 т золы. Это на 7% увеличило заболеваемость бронхитом. Содержание в золе от 5 до 100 мкг/кг радиоактивных веществ может привести к облучению легочной ткани (за счет вдыхания аэрозолей) до 50 мбэр/год, что значительно превышает расчетные пределы доз от газо-аэрозольных и жидких радиоактивных отходов АЭС. Из анализа данных М. Байлса (КАЭ США) следует, что дозы на население, проживающее вблизи 32 атомных объектов США, составляют лишь доли процента (в худшем случае — несколько процентов) от установленных регламентов. Например, дозы от выбросов промышленных реакторов и заводов по переработке ядерного горючего (за счет изотопов Ag, Kг, Хе, ^{131}I и ^{137}Cs) равны или меньше 1—3 мбэр/год.

Большое внимание в США уделяется тепловым эффектам. Так, начиная с 1964 г. восемь реакторов Ханфорда, которые использовали для охлаждения воду Р. Колумбия (что привело к повышению температуры воды на $1,5^\circ$), были переведены на другую систему охлаждения.

В ряде докладов подробно обсуждались вопросы объема внешней дозиметрии. Отмечалось, что минимум объема дозиметрического контроля внешней среды включает в себя измерения содержания радиоактивных

веществ в газо-аэрозольных и жидких отходах АЭС; осаждения изотопов на планшеты (или кюветы); доз γ -излучения на местности с помощью интегрирующих дозиметров. Однако многие авторы считают, что вместо большого объема рутинных измерений необходимо проводить целенаправленные экспериментальные исследования с целью получения исходных данных для прогнозирования радиационной обстановки на местности в случае повышенных выбросов. В качестве примера такого подхода можно назвать доклад Б. Вейса и др. (США) «Подробное измерение ^{131}I в воздухе, растительности и молоке вокруг площадок трех работающих реакторов». Авторы тщательно исследовали характеристики ^{131}I вблизи трех реакторов кипящего типа: «Дрезден I-III» (суммарная электрическая мощность 1 820 Мвт), «Монтиселло» (545 Мвт) и «Ойстер-Крик» (530 Мвт). В районе загрязнения были выбраны площадки для пастбища и исследовался метаболизм ^{131}I по цепочке выбросы — атмосферный воздух — трава — молоко коров.

В молоке концентрация ^{131}I наблюдалась даже тогда, когда в растительности ее невозможно было измерить. Во всех случаях в молоке она увеличивалась после дождей. Авторы считают, что вымывание изотопов из атмосферы происходит в основном с осадками. В докладе указывается также, что при проектировании новых АЭС типа ВВЭР КАЭ США выдвигает требование, чтобы расчетные пределы доз от выбросов за 1 год для отдельных лиц из населения, проживающего на границе защитной зоны (условно — 0,5 км), не превышали 5 мбэр, а средние дозы для больших групп населения — 1 мбэр, что составляет соответственно 5 и 1% дозы радиации от естественного фона и примерно в 100 раз меньше величин, рекомендуемых МКРЗ.

Обзор метаболических параметров ^{131}I сделали также западногерманские ученые П. Хэндг и О. Хофман. Из их доклада следует, что в ФРГ при проектировании АЭС устанавливаются пределы доз для отдельных лиц населения, в 17 раз меньше рекомендуемых МКРЗ: 30 мбэр/год для внешнего облучения всего тела и 90 мбэр/год для облучения щитовидной железы детей. Во всех докладах рассеяние примесей в атмосфере рассматривалось на основе концепции Пасквилла-Гиффорда.