

линдрической защиты. Рассмотрено распространение γ -квантов в гомогенной и гетерогенной защите протяженностью до 20 д. с. п.

Продолжалось изучение образования и распространения вторичного γ -излучения. Эти задачи рассмотрены, в частности, для двумерной осесимметричной защиты и в трехслойных экранах.

По-прежнему значительное внимание было уделено прохождению излучения через неоднородности в защите: через защиту с многосекционным изогнутым и кольцевым каналами, через натриевый трубопровод в гетерогенной защите с беспорядочно распределенными неоднородностями, а также через оборудование как среду со случайным расположением блоков. Дальнейшее развитие получило применение метода светового моделирования для решения указанных задач.

Новая информация получена по альбедо γ -излучения, в том числе низкоэнергетических γ -квантов, нейтронов, электронов и позитронов, тормозного излучения за толстыми мишенями для электронов энергией 0,01—30 МэВ и выход фотонейтронов из плоских бетонных и стальных барьеров при их облучении тормозным излучением бетатрона максимальной энергией 24 МэВ. Часть докладов была посвящена оптимизации защиты и исследованиям полей излучения в воздухе, в том числе вблизи границы раздела Земля — воздух.

Интересны доклады по исследованию погрешностей расчетов защиты, сравнению результатов расчетов по разным программам с данными базовых экспериментов.

На секции «Ядерные константы» было рассмотрено 29 докладов. Дальнейшему усовершенствованию была подвергнута система подготовки групповых констант для расчетов защиты АРАМАКО. В частности, эта система пополнилась комплексом подготовки констант γ -квантов АРАМАКО-G. К системе АРАМАКО-2F подключена библиотека нейтронных данных БНД-14 для расчетов переноса нейтронов энергией до 14 МэВ в защите термоядерных установок. Особо обсуждалась подготовка малогрупповых констант и групповых констант для γ -квантов применительно к решению уравнения переноса в $D_{L,N}$ -приближении, подготовка констант для сред с резонансной структурой сечения, в том числе для расчетов защиты методом Монте-Карло. Иссле-

довано влияние погрешностей сечений взаимодействия на результаты расчетов и точность измерения спектров нейтронов в защите реактора, обсуждены погрешности групповых приближений.

Интересные доклады были представлены на секции «Поля излучений действующих установок и их анализ». В докладах отмечалось, что облучение персонала АЭС с серийным ВВЭР-440 (по данным эксплуатации Кольской АЭС) не превышает в среднем 15% предельно допустимого значения, причем до 80% облучения персонала обусловлено ремонтными работами на остановленном реакторе. Интересна методика, позволяющая рассчитывать допустимую концентрацию радионуклидов в теплоносителе или отложениях оборудования АЭС.

На секции «Защита ядерно-технических установок» был представлен большой объем экспериментальных и расчетных исследований применительно к действующим АЭС: Армянской, Нововоронежской, Курской, Кольской.

12 докладов было посвящено загрязнению продуктами активации и коррозии первого контура реакторов различного типа и их роли в формировании радиационной обстановки на АЭС. Оценены радиационная обстановка при нормальной эксплуатации атомной станции теплоснабжения и радиационные последствия возможных аварийных ситуаций. Сформулированы задачи исследований защиты термоядерных реакторов. В частности, узким местом защиты таких установок являются неоднородности в защите, которых оказывается намного больше, чем в ядерных реакторах.

Часть докладов была посвящена радиационной стойкости и старению защитных материалов. Интересны доклады об измерении газовыделения из бетона и полиэтилена с наполнителями при действии реакторного излучения. Показано, например, что при флюенсе до 10^{19} нейтр./см² основным механизмом газообразования в бетоне является радиационное разложение связанной влаги.

Основные итоги и задачи предстоящих исследований изложены в принятых на конференции рекомендациях. Некоторые доклады будут опубликованы в ближайших номерах журнала.

МАШКОВИЧ В. П.

Советско-французский семинар

по безопасности АЭС с водо-водяными реакторами

Семинар состоялся в январе 1979 г. во Франции в центрах ядерных исследований Фонтене-о-Роз и Сакле. В 19 докладах, представленных советскими и французскими специалистами, были освещены теплофизические и прочностные расчетные исследования в условиях максимальной проектной аварии, вопросы экспериментального подтверждения расчетных методик, проблемы учета сейсмических воздействий на сооружения и оборудование АЭС, подход к выбору технологических схем обеспечения безопасности АЭС, а также нормирование при обеспечении безопасности.

Во Франции комплекс этих вопросов решается в рамках единой по своей структуре программы исследований, проводимых в научных центрах КАЭ. В исследованиях по безопасности Франция широко использует международное сотрудничество. Ею заключены соответствующие соглашения с США, ФРГ, Японией, Шве-

цией, Бельгией. Хотя в будущем в стране предполагается создать собственные расчетные нормы, в настоящее время при анализе безопасности в основном применяются американские нормы и критерии. При анализе выясняют такие параметры развития аварии, обусловленной потерей теплоносителя, как максимальная температура оболочки твэла, ее окисление, образование водорода, сохранность геометрии активной зоны, а также изучают влияние размера, места, формы и скорости образования разрыва контура. Для изучения этих вопросов французские специалисты применяют расчетные программы по термогидравлике первого контура SATAN VI, WREFOOD, COCO, LOCTA VI. При анализе безопасности водо-водяных реакторов во Франции были выявлены некоторые ошибки в расчетных программах, применяемых при проектировании PWR фирмой «Вестингауз» (США). Локальное давление, рас-

ход и плотность, возникающие при истечении недогретой воды, анализируют по расчетной программе BLOWDOWN II, вертикальные и боковые силы рассчитывают по программе FORCE-2 и LATFORCE. При проектировании первого контура придерживаются следующих критериев: его разрыв не приводит к разрыву паропровода, разрыв одной петли контура не влечет за собой разрыв другой и разрыв одной ветви петли не приводит к разрыву другой ветви этой же петли.

Основу большинства исследований составляет изучение эффективности систем аварийного охлаждения. Расчетные программы первого поколения давали консервативные оценки, программы второго поколения, например POSEIDON (аналог американской программы TRAC), хотя и более физичны, все же завышают (примерно на 100° C) максимальную температуру оболочки твэлов. В обоснование расчетных методов во Франции выполняется обширная экспериментальная программа: изучение истечения теплоносителя и критических расходов при декомпрессии (установки CANON, MOBY DICK, SUPER MOBY DICK в Гренобле), исследование теплообмена при декомпрессии и повторном заливе (OMEGA, ERSEC в Гренобле), влияние образующегося пара на процесс повторного залива (EPIS в Сакле) и термомеханического разбухания твэлов с электронагревом (EDGAR в Сакле) и ядерным нагревом (PHEBUS в Кадараше).

Установка PHEBUS представляет бассейновый реактор, в активной зоне которого установлена экспериментальная петля высокого давления, содержащая испытываемую ТВС. Канал с ТВС заключен в защитную трубу, соединенную с защитной оболочкой, где размещено испытательное оборудование. В экспериментах предусматривают изучить комплекс явлений, которые возникают в энергетическом реакторе при аварии, связанной с потерей теплоносителя и последующим заливом активной зоны, а также оценку эффективности программы для расчета температуры твэлов. Система регулирования реактора может моделировать аварийное снижение мощности энергетического реактора, арматура позволяет разгерметизировать за 50 мс контур, содержащий воду при 330 °C и 160 кгс/см², а затем смоделировать аварийное охлаждение ТВС. Петля с исследуемой сборкой рассчитана на максимальную мощность 700 кВт, при этом линейная максимальная мощность на твэле достигает 570 Вт/см. В экспериментах будут варьировать диаметр разрыва, его местоположение, линейную мощность энерговыделения в твэлах, внутреннее давление в них, расход заливаемой воды низкого и высокого давления.

Реактор в апреле 1979 г. предполагалось вывести на мощность 10 МВт и первоначально испытать твэлы с обогащением по ²³⁵U 20%. Летом 1979 г. предусматривается увеличить мощность до 55 МВт и перейти к испытаниям свежих ТВС, содержащих до 25 твэлов. В дальнейшем будут проведены эксперименты с выгоревшим топливом, которое будут доставлять с реактора CAP, расположенного в Кадараше или с бельгийского реактора BR-2. Программа PHEBUS, рассчитанная на 10 лет (1973—1983 гг.) и проводимая национальными силами, оценивается в 261 млн. фр.: капиталовложения составляют 88 млн. фр., на подготовку экспериментов ассигновано 33 млн. фр., на проведение экспериментов и обработку результатов — 140 млн. фр.

Механическое поведение элементов первого контура при истечении теплоносителя изучают на стендах AQUITAINE II и SUPER BEC в Кадараше, взаимодействие пара с бетоном — на стенде ECOTRA в Гренобле, перетечки между боксами — на стенде REBECA

также в Кадараше. Радиационные последствия аварий, обусловленные потерей теплоносителя, исследуют на установке FLASH в Гренобле.

Эксперименты объединены одной целью — уточнить теоретические и расчетные модели, используемые при обосновании безопасности АЭС, и уменьшить консерватизм оценок безопасности. Выявленные таким образом запасы по параметрам аварийных процессов в ближайшие годы предполагают использовать для смягчения эксплуатационных требований к действующим и проектируемым АЭС, а не для изменения характеристик АЭС или удешевления систем безопасности.

Внедрению количественного вероятностного подхода к анализу безопасности способствуют исследования, проводимые в Фонтене-о-Роз. Помимо развития расчетных методов там разработан и изготовлен на базе аналоговых устройств комплекс аппаратуры, дающий проектировщикам удобный и эффективный рабочий инструмент для вероятностного анализа разрабатываемых систем. Применение количественного вероятностного метода анализа различных схем аварийного охлаждения для новых серий французских АЭС мощностью блока 1300 МВт (эл.) показало, что вероятность отказа системы аварийного охлаждения по схеме 2 × 133% составляет 3·10⁻⁴ год⁻¹, системы 3 × 100% — 2·10⁻⁴ год⁻¹, системы 4 × 100% — 10⁻⁴, в то время как система по схеме ФРГ 4 × 50% имеет вероятность отказа 10⁻³ год⁻¹. В результате наиболее оптимальным признано построение системы аварийного охлаждения по схеме 2 × 133%.

Большое место во французских исследованиях занимают вопросы сейсмостойкости. Для района предстоящего размещения АЭС на основании архивных данных с учетом удаленности и силы возможных очагов определяют исторически наиболее правдоподобное землетрясение. Максимальное расчетное землетрясение принимается на один балл выше правдоподобного. Оборудование и отдельные элементы сооружений АЭС испытывают на сейсмостойкость в Сакле на двух вибростендах VESUVE и TOURNESOL. Первый грузоподъемностью 20 т позволяет получать одномерное горизонтальное перемещение стола, несущего испытываемое изделие, второй грузоподъемностью 10 т — двумерное перемещение (вертикальное и горизонтальное). На этих стендах можно воспроизводить синусоидальные колебания частотой до 200 Гц, а также колебания, соответствующие реально имевшим место записанным землетрясениям.

При серийном строительстве станции проектируют на один тип землетрясений, при этом локальный спектр на площадке АЭС сравнивают со стандартным, в качестве которого во Франции для АЭС мощностью 1300 МВт применяют стандартный американский спектр на 0,16 g. Использованию серийных проектов АЭС на максимальное расчетное землетрясение 8 баллов в районах с повышенной сейсмичностью способствует внедрение в производство специальных антисейсмических опор. Под здание АЭС устанавливают до 2000 таких эластичных опор, представляющих набор чередующихся слоев нержавеющей стали и упругого эластомера. При землетрясении с горизонтальным ускорением до 0,2 g АЭС на таких опорах претерпевает упругие колебания. При любой силе землетрясения элементы основания зданий испытывают ускорение не более 0,2 g, так как упругие опоры не передают зданию горизонтальное ускорение выше 0,2 g и выравнивают распределение ускорений по высоте. При землетрясении с ускорением выше 0,2 g происходит подвижка зданий по опорам,

которая при ускорении выше 0,6 g может достигать 150 мм. Применение упругих опор повышает сейсмостойкость АЭС на 1—1,5 балла. В настоящее время такие опоры используют (или планируют применять)

на восьми АЭС, в том числе на сооружаемой во Франции АЭС CRUAS (4 блока по 900 МВт).

ИСАЕВ А. Н.

Заседание Группы старших советников МАГАТЭ по безопасности АЭС

15-е заседание Группы старших советников в рамках программы МАГАТЭ NUSS (Nuclear Safety Standards) по разработке сводов и руководств в обеспечение безопасности АЭС состоялось в декабре 1978 г. в Вене. К моменту его проведения были подготовлены первые официальные издания на английском языке пяти основных документов программы — своды положений «Правительственная организация», «Выбор площадки», «Проектирование», «Эксплуатация», «Обеспечение качества». Тем самым после 4-летней работы появились первые практические результаты.

В настоящее время уже видны сроки завершения программы в соответствии с намеченным списком создаваемых документов (примерно 1981 г.). Дальнейшей судьбе программы и деятельности организационного механизма, созданного МАГАТЭ для ее реализации, была посвящена дискуссия с участием ведущих сотрудников Секретариата МАГАТЭ. Было признано, что одной из последующих задач должен явиться пересмотр выпущенных документов программы с учетом опыта их применения в различных странах и происходящих изменений в подходах к безопасности АЭС.

Наиболее важный аспект будущей деятельности МАГАТЭ в рамках программы NUSS — расширение сферы затрагиваемых вопросов. В нынешней форме программа распространяется на наземные стационарные АЭС с тепловыми реакторами, предназначенными для производства энергии.

Дискуссия показала, что целесообразно в дальнейшем включить в программу быстрые и исследовательские реакторы, а также различные элементы ядерного топливного цикла. Было определено различие по характеру и назначению документов, создаваемых в рамках программы NUSS, и аналогичных документов, разраба-

тываемых в рамках других программ МАГАТЭ. По программе NUSS разрабатываются документы, имеющие характер нормативно-технической документации по проблеме, которая достигла соответствующего уровня по накопленному опыту и обобщенности подходов. Документы других программ МАГАТЭ по той же проблеме ставят своей целью обобщить научно-техническую информацию и подготовить основу для создания документа в рамках программы NUSS. Намечены определенные действия по распространению деятельности программы NUSS на быстрые реакторы.

На заседании рассмотрены два руководства: SG-02 «Инспекция в процессе эксплуатации» и SG-S3 «Атмосферная дисперсия при выборе площадки для АЭС». Состоявшаяся по первому руководству дискуссия показала, что проведение инспекций в разных странах различно и трудно сформулировать какие-либо конкретные рекомендации. Поэтому решено было ограничиться общими замечаниями, освещающими основные моменты этой процедуры, и просить МАГАТЭ создать более подробный технический документ вне рамок программы NUSS.

Принятое руководство SG-S3 отразило различные подходы к расчету атмосферной дисперсии радиоактивных продуктов при выбросе с АЭС. Руководство велико по объему (около 130 с.), имеет во многом конкретный технический характер и может служить пособием для практического использования. Помимо обсуждения методик расчета концентраций оно освещает метеорологические исследования на площадке, контрольно-измерительные приборы и сбор данных, учет необычных условий.

КОВАЛЕВИЧ О. М.

АТОМИЗДАТ

Худ. ред. А. Т. Кирьянов

Тех. ред. Н. А. Власова

Корректор Е. В. Журина

Сдано в набор 02.02.79.

Подписано к печати 21.04.79.

Т 07151

Формат 84×108¹/₁₆

Усл. печ. л. 7,56.

Уч.-изд. л. 9,21.

Тираж 2645.

Зак. изд. 78811.

Зак. тип. 0121.

Цена 1 руб.

Ордена Трудового Красного Знамени Московская типография № 7 «Искра революции» Союзполиграфпрома Государственного Комитета СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва 103001, Трехпрудный пер., 9