

свободные жилы кабелей необходимо заземлять; силовые реле рекомендуется помещать в экран, подключенный к шине общестанционного заземления. Силовую часть оборудования необходимо конструктивно отделять от приборной;

силовые кабели должны иметь броню, соединенную с шиной общестанционного заземления;

следует максимально использовать эффективные развязки по питанию.

В докладах неоднократно отмечалось, что электромагнитная совместимость достигается комплексом мероприятий и требует понимания проблемы всеми специалистами, участвующими в создании, монтаже и эксплуатации АЭС.

Методы проверки помехозащищенности и стандартизация. Стандартов, устанавливающих требования к электромагнитной совместимости оборудования на АЭС и методы контроля, нет. Поэтому иногда применяют стандарты смежных областей. Так, У. Вокер (Великобритания) в докладе указывает на возможность использования требований BSI 3G100 к авиационной аппа-

ратуре и стандартов US MIL STD 461, 462 при проверке оборудования АЭС. А. Нирс (Швеция) в докладе, посвященном стандартизации, сообщил о подготовленном Шведским национальным комитетом МЭК стандарте SEN 361503 «Классы условий по возмущениям и правила испытаний электронных установок оборудования управления электростанциями». Часть стандарта соответствует Публикации МЭК № 255-4 от 1976 г.

На совещании подтверждена целесообразность и своевременность разработки запланированных рекомендаций МЭК:

в ПК 45А (РГ А2) — «Электрические помехи в приборах для АЭС. Характеристики и методы контроля»;

в ПК 46А (РГ 1) — «Эффективность экранирования радиочастотных кабелей»;

в ПК 46Д (РГ 3) — «Эффективность экранирования разъемов».

Материалы совещания представляют интерес для специалистов в области ядерного приборостроения.

НИКИФОРОВ Б. Н., ПРОСТОВ С. С.

Советско-американский семинар по компонентам быстрых реакторов

Темой семинара, состоявшегося в феврале 1978 г. в Лос-Анджелесе (США), были проблемы конструирования, разработки, изготовления и испытания компонентов быстрых реакторов. Участники семинара заслушали и обсудили сообщения американских и советских специалистов по следующим разделам: корпуса реакторов и их внутренние структуры и элементы; теплообменники и системы отвода остаточного тепла; насосы, приводы управляющих стержней.

В семинаре активное участие принимали представители фирм «Вестингауз», «Дженерал электрик», «Атомик интернешнл» и др. В заключении Дж. Форд, руководитель американской делегации и председатель семинара, сделал сообщение о планах в области разработки и испытания основных компонентов быстрых реакторов с натриевым теплоносителем.

Советские специалисты ознакомились с некоторыми стендаами конструкторского центра жидкых металлов LMEC, со строительством быстрого реактора FFTF и стендаами, относящимися к проектам быстрых реакторов FFTF и CRBRP в Ханфордской инженерно-технологической лаборатории, побывали на строительстве одного из трех легководных кипящих реакторов мощностью ~1100 МВт (эл.).

Сообщения на семинаре, интенсивное строительство FFTF, широкая программа экспериментальных исследований свидетельствует о больших усилиях, предпринимаемых специалистами США в области быстрых реакторов с натриевым теплоносителем.

КОЧЕТКОВ Л. А.

Советско-английский семинар по водно-химическим режимам и конструкционным материалам кипящих канальных реакторов

Семинар по химическим режимам водного контура, дезактивации, высокотемпературной очистке теплоносителя, коррозионной стойкости и прочности конструкционных материалов состоялся в декабре 1977 г. в Уинфирте (Великобритания). Доклады и состоявшаяся дискуссия показали, что, несмотря на общность взглядов по многим вопросам, конкретные задачи в СССР и Великобритании решаются по-разному.

Для АЭС с SGHWR так же, как и с РБМК, принят нейтральный бескоррекционный водный режим с поддержанием высокой чистоты теплоносителя (удельная электрическая проводимость $< 1 \text{ мкСм/см}$). В SGHWR требуемое качество теплоносителя обеспечивается

100%-ной очисткой турбинного конденсата при 108 °C намывными ионитными фильтрами (НИФ), установленными после подогревателей низкого давления (ПНД-2), и продувкой реакторной воды с расходом, равным 4% паропроизводительности. Продувочная вода очищается фильтрами конденсатоочистки. В процессе эксплуатации НИФ имелись случаи прорыва фильтрующих перегородок и наноса порошкообразных ионитов в контур реактора, в связи с чем конструкция фильтров дорабатывается. Отмечалось, что во время работы ионитов при повышенной температуре происходит термическое разрушение анионита, что приводит к поступлению в теплоноситель органики, уменьшению рабочей обмен-

ной емкости анионита и соответственно к сокращению фильтроцикла. Поэтому для коммерческого варианта SGHWR (как стало известно, выбран AGR) предлагаются систему конденсатоочистки разместить до подогревателей. При расположении АЭС на побережье и охлаждении конденсаторов морской водой предусматривается установить насыщенные фильтры со смешанным слоем ионитов без механических предфильтров. При охлаждении конденсаторов пресной водой можно использовать НИФ.

Для варианта коммерческой АЭС предполагается также отказаться от подачи продувочной воды на фильтры конденсатоочистки, в связи с чем разрабатывается система байпасной очистки реакторной воды, состоящая из высокотемпературного электромагнитного фильтра (ЭМФ) расходом 600—1000 т/ч и ионобменных фильтров расходом, равным 4% паропроизводительности реактора. Конструкция ЭМФ в течение нескольких лет отрабатывалась на SGHWR. Экспериментальный ЭМФ был установлен на байпасе продувной линии и работал при 260—270 °C и расходе 3—7 т/ч. По конструкции фильтр отличается от разработанного в ФРГ использованием в нем набора металлических решеток вместо шариков. Эффективность по железу составляет 80—90%, кобальту — 70%. На основе этих данных был разработан ЭМФ производительностью 100 т/ч, который предполагают установить в контуре SGHWR. При этом ожидается снижение скорости роста радиоактивных отложений ~50%.

Значительный интерес представляют принятые в Великобритании системы химического и радиохимического контроля. Автоматизация химического контроля приводит к тому, что в лаборатории Уинфртского реактора работает всего 8 человек, в том числе 2 инженера. Электропроводность измеряют автоматическими кондуктометрами английской фирмы «Электроникс инструментс». Содержание солей жесткости, бора, кремния определяют автоматическими приборами американской фирмы «Техникон». При анализе продуктов коррозии используют накопительный фильтр из набора пористых мембран, пропитанных катионообменником. Содержание металлов определяют методом атомно-абсорбционного спектрального анализа. Для радиометрического контроля непосредственно измеряют успектры Ge (Li)-детектором с 4000-канальным анализатором типа «Канберра». Данные химического и радиохимического контроля обрабатывают с применением мини-компьютеров.

Материалом активной зоны SGHWR (твэлы и канальные трубы) является циркалий-2 (в РБМК используют для твэлов сплав Zr — 1% Nb, для каналов — сплав Zr — 2,5% Nb). Твэлы и канальные трубы не подвергают травлению и поэтому не автоклавируют перед установкой в реактор. Аналогичная технология принята для коммерческого варианта SGHWR. Несмотря на уверенность в высокой надежности циркалия-2, проводятся широкие исследования его коррозионной стойкости и сопротивления ползучести в рабочих условиях. Изучается повреждаемость канальных труб, оценивается скорость распространения трещин при циклическом нагружении. Установлено, что облучение в реакторе не влияет на поглощение водорода циркалием-2, но несколько увеличивает скорость коррозии.

Отмечалась опасность присутствия на поверхности труб дефектов глубиной до 1,2 мм и протяженностью до 50 мм. Хотя при контакте с водяным теплоносителем 50 мм. Хотя при контакте с водяным теплоносителем число циклов до разрушения трубы уменьшается в 5 раз по сравнению с испытаниями на воздухе (15 и 3 тыс.), большой запас прочности при термоциклировании

канальных труб остается (допускается не более 10 циклов в год).

Осуществляется международная программа по разработке сплавов циркония с рабочей температурой 450—500 °C.

За время 9-летней эксплуатации SGHWR, по заявлению английских специалистов, не было случаев разгерметизации канальных труб и утечки теплоносителя.

В проекте коммерческого SGHWR предполагают изменить конструкцию сборок, увеличив число твэлов (с 36 до 56), чтобы уменьшить напряжения в твэлах.

В SGHWR контур многократной принудительной циркуляции (КМПЦ), как и в РБМК, выполнен из нержавеющей стали. Анализ условий работы контура привел к выводу об отсутствии угрозы коррозионного растрескивания стабилизированной стали 321 со стороны теплоносителя (аналогичное заключение сделано и советскими специалистами о стали 0Х18Н10Т). Отдельные случаи развития трещин имели место с внешней стороны трубопроводов SGHWR вследствие хлоридного загрязнения термоизоляции во время остановок (трубопроводы КМПЦ РБМК имеют защитные покрытия). Выдвигаются предложения в варианте коммерческого SGHWR выполнить КМПЦ из ферритной стали BS3604 (2,25% Cr и 1% Mo), причем не исключается применение стали BS3059 (марганцовистая). Если эти рекомендаций будут приняты, то стояки канальных труб будут выполнены из стали 405 (12% хрома), трубопроводы контура и барабан-сепаратор — из BS3604 без плакировки нержавеющей сталью. Замена стали austenитного класса ферритной объясняется стремлением упростить надзор за оборудованием в процессе эксплуатации. По-прежнему все тонкостенное оборудование контура, в том числе и внутренние устройства барабана-сепаратора, будут выполнены из austenитной стали. Английские специалисты полагают, что эксплуатационная надежность барабана-сепаратора (если его изготовить без плакирования нержавеющей сталью) останется неизменной, хотя имеются указания о влиянии теплоносителя на малоцикловую усталость.

Во время работы реактора на номинальных режимах вряд ли может значительно увеличиться поступление продуктов коррозии в теплоноситель, так как в этом случае на ферритной стали будет образовываться пассивирующая пленка.

На период кратковременных остановок реактора английские специалисты не планируют никаких мер по защите от коррозии, кроме более четкого контроля за составом воды. Для предупреждения коррозии при длительных остановках необходимы дополнительные меры: либо введение NaNO_2 (100 мг/л) в качестве ингибитора коррозии, либо создание азотной «подушки».

Таким образом, предложения по применению в КМПЦ низколегированных сталей сопровождаются мерами, обеспечивающими это использование (в том числе установка более мощных ЭМФ на расход 600—1000 т/ч для варианта коммерческого реактора). Однако окончательное решение о выборе материала для КМПЦ еще не принято.

На период дезактивации в КМПЦ SGHWR устанавливают коррозионные зонды-датчики. Скорость коррозии материала при 20—300 °C оценивается по результатам изменения омического сопротивления. Коррозионное состояние материалов на АЭС с РБМК постоянно контролируется по индикаторным образцам, установленным в КМПЦ, конденсатопитательном тракте, а также в реакторном пространстве в схемах «Кж», «Е», «Л» и «ОР».

Поскольку продукты коррозии посыпают в теплоноситель в основном из конденсатопитательного тракта, то английские специалисты считают нецелесообразным расширять применение в этом тракте сталей перлитного класса. Трубчатка ПНД для варианта коммерческого SGHWR будет выполнена из нержавеющей стали. В подогревателях высокого давления ПВД₁ и ПВД₂ ныне действующего SGHWR трубные пучки изготовлены из углеродистой и нержавеющей стали соответственно. Рабочая температура ПВД₁ равна 140 °С, ПВД₂ — 170 °С. Хотя надежная пассивация углеродистой стали, как полагают, достигается только при 200 °С, аварий

трубчатки в ПВД₁ не было. В коммерческом варианте SGHWR трубные пучки ПВД₁ и ПВД₂, а также наиболее развитые поверхности конденсатопитательного тракта будут выполнены из нержавеющей стали.

В настоящее время в Великобритании теплообменное оборудование, работающее на морской воде, начинают изготавливать из титановых сплавов.

Проведенный на семинаре обмен мнениями оказался плодотворным и позволил получить полезную информацию о химии воды, средствах поддержания ее качества, поведении конструкционных материалов.

ГРОМОВА А. И., СЕНТИОРЕВ В. П.

Совещание по мутагенному действию физических факторов

В апреле 1978 г. в Звенигороде было проведено координационное совещание по мутагенному действию физических факторов, организованное секцией генетических аспектов проблемы «Человек и биосфера» при ГКНТ, Институтом общей генетики и научными советами АН СССР по проблемам радиобиологии, генетики и селекции.

Около 100 специалистов из 42 учреждений (в основном институтов и лабораторий АН СССР, союзных республик, Минздрава СССР, ВАСХНИЛ) заслушали и обсудили 17 докладов, посвященных анализу мутагенного действия ионизирующего, ультрафиолетового, лазерного излучений и микроволн СВЧ-диапазона.

Ю. И. Москалев обобщил новые данные о соматических эффектах при действии радионуклидов тяжелых и трансурановых элементов (ТУЭ) на животных. Экспериментальные исследования бластомогенного действия радия позволили установить, что минимальные дозы для ²²⁶Ra и ²²⁴Ra отличаются более чем на порядок: 1200 и 80—90 рад соответственно. Это объясняют различием микрогеометрии облучения: преимущественного поглощения энергии ²²⁶Ra в минеральных структурах и доминирующего воздействия излучений ²²⁴Ra на поверхностные структуры костной ткани. Показано, что введение ТУЭ в количестве 5 Нк/г легочной ткани, эквивалентном 5—20 рад, увеличивает частоту злокачественных опухолей у подопытных собак. Эти эксперименты, в частности, привели к использованию в новых рекомендациях МКРЗ значения коэффициента качества α -излучения 20 вместо ранее применяемого 10. Еще большие значения ОБЭ (α/β) — до 100—200 — зарегистрированы в исследованиях минимальных бластомогенных доз на подопытных животных. Наряду с этим обнаружен поразительный факт увеличения продолжительности жизни при ингаляции аэрозолей ТУЭ: при дозе 6—60 рад у крыс она возрастает на 10—15%. «Горячие» частицы PuO_2 оказались биологически менее эффективными, чем равномерное облучение легких такой же дозой.

Изложив содержание последнего (1977 г.) доклада НКДАР ООН, М. Д. Померанцева пришла к заключению, что, несмотря на огромное число исследований по проблеме генетической опасности ионизирующего излучения, оценка этой опасности остается ориентировочной, не выявлены зависимости доза — эффект для рецессивных леталей.

М. И. Шальнов высказал гипотезу, что мутации, которые принято считать однолокусовыми, на самом деле являются общегеномными и, возможно, даже общеядерными. Основой для этого послужила выяв-

ленная линейная зависимость спонтанной мутабильности, нормированной на локус, от содержания ДНК в геноме. Если принять, что отношение регрессивных линий спонтанной и радиационно-индукционной мутабильности выражает общебиологическую закономерность, можно по упомянутым линиям определить значение удваивающей дозы D_2 . Для доминантных леталей D_2 оказалось равным 25 рад, для рецессивных — 5 рад. Это весьма близко к наиболее достоверным из прежних оценок: 30 (Н. В. Тимофеев-Ресовский, 1947) и 6—8 рад (Н. П. Дубинин, 1961).

В. Г. Королев указал на необходимость учета энергии и изменения заряда ядра распада при оценке мутагенного действия инкорпорированных радионуклидов. По его данным, для различных форм тимидина, меченного ³H, мутагенный эффект может отличаться на два порядка при одной и той же поглощенной дозе β -излучения (около 1000 рад).

А. М. Степанов отметил, что в период возникновения млекопитающих и антропогенеза доза естественного радиационного фона была практически постоянной и ее можно рассматривать безопасной для человека. Жизнь на Земле возникла только после снижения давления прессы мутагенных факторов, в частности повышенной естественной радиации.

Действие микроволн СВЧ-диапазона на половые и соматические клетки самцов мыши было рассмотрено в докладе Л. К. Рамайя и др. Ранее мутагенный эффект СВЧ-облучения был выявлен в диапазоне 10—50 мВт/см². В экспериментах с однократным и фракционированным облучением мышей при плотности потока энергии 60 и 800 мВт/см² статистически достоверного увеличения частоты доминантных летальных мутаций не обнаружено. В. В. Севастьянов сообщил о кастрирующем эффекте микроволнового облучения, экспериментально доказанном на 1500 быках и 500 баранах. При плотности потока энергии более 20 мВт/см² и однократном воздействии длительностью 30 с полное рассасывание яичников происходило через 3—6 месяцев после облучения. В докладе высказано предположение, что выявленный эффект связан с резонансным поглощением энергии микроволн и изменением проницаемости клеточных мембран.

С. А. Павлович рассказал об экспериментах по выявлению генетических эффектов магнитных полей на микроорганизмах. При воздействии постоянного магнитного поля напряженностью 6 тыс. Э получены магнитные мутанты микробов, в том числе особо устойчивые относительно антибиотиков. В этом же докладе были приведены предварительные результаты опытов