

11 Международное совещание по анализу шумов ядерных реакторов

В работе совещания, состоявшегося 30 марта — 1 апреля 1978 г. в Россендорфе (ГДР), участвовали более 80 специалистов из Болгарии, Венгрии, ГДР, Кубы, Нидерландов, Польши, СССР, Франции, ФРГ, Чехословакии, Швейцарии и Швеции. Было заслушано и обсуждено 27 сообщений, пять из которых сделаны специалистами СССР. В сообщениях нашли отражение работы по следующим направлениям: диагностика состояния ядерных энергетических установок с быстрыми и тепловыми реакторами; теоретические и экспериментальные исследования технологических шумов реактора и оборудования энергетической установки; методические вопросы.

Большое внимание участники совещания уделили обсуждению методов обнаружения кипения теплоносителя в активной зоне быстрых и тепловых реакторов. Значительная часть сообщений была посвящена методам контроля за амплитудой и частотой вибраций элементов конструкции активной зоны и других внутрикорпусных устройств реакторов с водой под давлением. В докладах, посвященных этой проблеме, рассматривались различные механические модели внутрикорпусных элементов конструкции ВВЭР с учетом различного способа их сочленения и аналитически описывалась вибрация этих элементов под действием возмущающих сил, обусловленных движением теплоносителя. Некоторые теоретические исследования, проведенные, в частности, специалистами ГДР, хорошо подтверждаются экспериментами.

В одном из представленных сообщений специалисты ГДР рассказали о концепциях контроля вибраций элементов активной зоны (органов регулирования) ВВЭР с использованием информации, содержащейся в сигналах внутризонных нейтронных детекторов.

Специалисты Венгрии сообщили об экспериментальных исследованиях вибраций поглотителя нейтронов, выполненных на критической сборке. Результаты экспериментов хорошо согласуются с теорией нейтронных шумов, развитой применительно к вибрациям поглотителя в реакторе с отражателем в двухгрупповом энергетическом приближении. Советские участники совещания рассказали о новом методе контроля за вибрацией элемента конструкции, расположенного в сосуде с водой, с помощью измерительных средств (акустического излучателя и приемника), размещенных на внешней поверхности сосуда.

В сообщениях, посвященных обнаружению кипения теплоносителя в активной зоне реакторов, были представлены результаты исследований, основанных на анализе нейтронных шумов, а также шумов акустического сигнала, генерируемого в процессе рождения и схлопывания пузырей пара. При этом в разных экспериментах использовали как внутризонные, так и внезонные нейтронные детекторы, а акустическое излучение регистрировали приемниками погружного типа, размещенными непосредственно в теплоносителе вблизи от активной зоны, и приемниками, расположенными за корпусом реактора на конце специального волновода, который введен в теплоноситель.

В некоторых исследованиях для выделения на фоне конкурирующих шумов случайной составляющей в сигналах, связанной с появлением кипения теплоносителя в активной зоне реактора, применяли взаимный спек-

тральный анализ сигналов, регистрируемых нейтронным и акустическим детекторами. Значительное место во всех сообщениях отводилось интерпретации измеренных спектров и их связи с режимом и интенсивностью кипения. Так, специалисты СССР предложили использовать импульсный характер акустического сигнала для обнаружения кипения натрия. И. Эрхардт (ФРГ) рассказал о возможности оценки эффективности применения собственных и взаимных спектральных плотностей мощности случайных сигналов к обнаружению всплывания натрия на основе регистрации периодических компонентов в них. В докладе Е. Тюркана (Нидерланды) приводились результаты экспериментов по контролю за возникновением кипения натрия на 28-стержневом пучке с помощью анализа температурных флуктуаций.

По состоянию работ на сегодняшний день можно заключить, что обнаружение кипения в активной зоне энергетического быстрого реактора, охлаждаемого жидким металлом, близко к практической реализации. Этого нельзя сказать относительно реакторов с водой под давлением. На пути решения данной проблемы стоят трудности, связанные с большими по амплитуде конкурирующими шумами в нейтронном, акустическом и температурном полях, которые присущи нормальной работе реакторной установки такого типа, и малыми возмущениями, возникающими при появлении кипения небольшой интенсивности в какой-либо части активной зоны.

Часть докладов на совещании была посвящена регистрации повреждений в оборудовании АЭС на основе анализа технологических шумов. Так, в кратком обзоре работ по диагностике, проводимых в ГДР, Р. Фуге представил некоторые расчетные и экспериментальные результаты по обнаружению течи в парогенераторах натрия—вода. Им была показана перспективность метода обнаружения течи по флуктуациям сигналов от магнитных расходомеров. Е. Придэль (ГДР) проанализировал возможность регистрации течей в аналогичных парогенераторах акустическим методом. Большая группа докладов касалась методических вопросов и использования шумовых сигналов для измерения некоторых параметров. Так, специалисты СССР сообщили о корреляционном методе измерения расхода натрия магнитными датчиками, специалисты Венгрии представили результаты определения скорости потока теплоносителя, выполненные методом анализа шумовых сигналов от двух термопар, которые расположены на известном расстоянии одна от другой по высоте экспериментального канала.

Интересное сообщение об экспериментальных исследованиях пульсаций давления и нейтронных шумов в кипящем энергетическом реакторе сделали шведские специалисты. Ими отмечалось, что полное количество пара в объеме активной зоны реактора может быть измерено с помощью взаимного спектрального анализа указанных сигналов. В этом докладе представлены результаты определения скорости подъема пузырей пара, которые получены методом взаимной корреляции токовых сигналов от двух камер деления, размещенных одна над другой по высоте активной зоны.

Доклад К. Берингера (Швейцария) представил интерес с точки зрения статистического обоснования

метода полярной корреляции, который ввиду простоты аппаратной реализации находит широкое применение в реакторных измерениях. К. Майер (ГДР) проанализировал теоретически влияние пространственных эффектов на результаты измерения шумов в энергетическом реакторе, Д. Кошай (Венгрия) сообщил о некоторых возможностях изучения двухфазного потока в кипящем реакторе методом анализа нейтронных шумов.

Специалисты ГДР, Нидерландов, СССР и ФРГ обсудили на совещании возможности применения внутризонных эмиссионных детекторов с эмиттерами из кобальта и родия для измерения нейтронных шумов. В дискуссии по этому вопросу были отмечены преимущества детекторов с родиевым эмиттером. В сообщении А. Миккульского (Польша) рассматривалась система регистрации и обработки четырех шумовых сигналов по амплитуде в режиме on-line с использованием программно-управляемых модулей КАМАК. М. Колб (ФРГ) информировал участников совещания о системе измерений и анализа нейтронных и технологических шумов, которые применяются на атомном сухогрузном

судне «Отто Ган». М. Колб привел интересные экспериментальные данные, связанные с изучением влияния волнения моря на характер технологических шумов в реакторе, первом и втором контуре. Результаты получены с использованием указанной системы диагностики. Доклад М. Колба сопровождался показом фильма о судне «Отто Ган».

Участникам совещания была предоставлена возможность ознакомиться с экспериментальным оборудованием, стендами и постановкой работы по диагностике в лабораториях института Россендорфа. Большой интерес вызвали модель петли для изучения вибраций регулирующего органа в потоке теплоносителя, теплофизический стенд для отработки методов обнаружения кипения, а также стенд для калибровки акустических датчиков.

Следующее совещание решено провести весной 1979 г. в Швеции.

ШИКАЛОВ В. Ф., КЕБАДЗЕ Б. В.,
БУЛАВИН В. В.

Советско-французский семинар по эксплуатации опреснительных установок

На семинаре, состоявшемся в марте 1978 г. в Свердловске, обсуждались инженерно-прикладные задачи, связанные с техникой и технологией опреснения воды: предотвращение накипи и биологического обрастания оборудования; интенсивность теплопередачи; коррозия конструкционных материалов. Эти и подобные вопросы нашли отражение в докладах и были дополнены информацией французских специалистов об использовании тепловой энергии ядерных реакторов для опреснения воды.

Франция достигла в 70-х годах значительных успехов в технике опреснения. Наиболее перспективной среди систем предотвращения накипи является добавление термостойких органических антинакипинов — безвредных, неагрессивных с термостойкостью до 110—130 °С, эффективно действующих в малой концентрации (2—10 мг/кг). К ним относится, в частности, вещество с торговой маркой «Белград-ЕВ» швейцарской фирмы «Сибя-Гайги», эффективно используемое вместо полифосфатов в двух построенных Францией опреснителях: производительность установок повышена на 20% за счет увеличения допустимой температуры в голове процесса.

Биологическое обрастание оборудования предотвращается как правило добавлением в морскую воду газообразного хлора. Работа с ним опасна, поэтому специалисты проявляют интерес к электрохлоратору, обеспечивающему получение малой концентрации растворенного хлора непосредственно в морской воде вследствие частичного электролиза. Но этот аппарат еще должен зарекомендовать себя в эксплуатации, так как сложен и дорог.

Заслуживают внимания положительные результаты длительного и всестороннего испытания железобетона и хромоалюминиевой стали в качестве конструкционных материалов для термических опреснителей. Французские специалисты высоко оценивают их качества

и полагают, что железобетон вскоре станет основным материалом корпусов крупных, а хромоалюминиевая сталь — небольших опреснителей. Коррозия хромоалюминиевой стали в деаэрированной морской воде в 50—100 раз меньше, чем мягкой углеродистой стали. В то же время она недорога в сравнении с нержавеющей сталью.

На семинаре сообщалось о проекте французского ядерного реактора для теплоснабжения городов или опреснения воды. Это небольшой одноцелевой водородный реактор тепловой мощностью 420 МВт, выдающий внешнему потребителю только тепловую энергию относительно низкого потенциала: теплоносителем внешнего контура служит горячая вода, параметры которой близки параметрам работы современных водогрейных котлов. Выработка пара и электроэнергии не предусматривается, давление воды в контурах не превышает нескольких бар, поэтому все системы значительно упрощаются. Авторы проекта считают, что реактор будет недорогим и относительно простым в эксплуатации.

Советские специалисты рассказали об опыте эксплуатации промышленных опреснителей: о достигнутой интенсивности теплопередачи на профилированных теплообменных поверхностях 4—6 тыс. Вт/м²·град, о качестве дистиллята, характеризуемом содержанием 0,5—20 мг/кг в зависимости от типа опреснителя, об усовершенствованиях в системе предотвращения накипобразования (например, об углекислотной стабилизации воды перед нагревом) и других аспектах эксплуатационной надежности опреснителей.

По объему информации семинар был насыщенным, его польза заключается в практическом инженерном характере обсуждавшихся вопросов, связанных непосредственно с созданием и эксплуатацией промышленных опреснителей воды.

ЧЕРНОЗУБОВ В. Б.