

## Международный симпозиум по системам управления и защиты и контрольно-измерительным приборам АЭС

В симпозиуме, состоявшемся в Каннах (Франция) и организованном МАГАТЭ в сотрудничестве с КАЭ Франции, приняли участие более 300 специалистов из 35 стран, а также представители 5 международных организаций.

На пленарном заседании подчеркивалась возрастающая роль ядерной энергетики в мировом балансе вырабатываемой электрической энергии и отмечалось, что ее успешное развитие связано с дальнейшим совершенствованием аппаратуры контроля и управления АЭС. В настоящее время средняя эффективность работы АЭС составляет 60—65%: использование резерва 35—40% в значительной степени зависит от повышения надежности аппаратуры и обеспечения управления работой АЭС в режиме переменной нагрузки.

Внимание участников симпозиума было обращено на необходимость разработки международных стандартов на аппаратуру, обеспечивающую контроль безопасности АЭС, на развитие аппаратуры для контроля окружающей среды.

За пять дней работы симпозиума было заслушано и опубликовано 68 докладов, распределенных по семи секциям: опыт установки, пуска и эксплуатации систем управления, защиты и приборов АЭС (16 докладов); системы наблюдения за узлами реактора (11); распределение мощности в активной зоне реактора и управление (4); системы защиты и аварийной сигнализации (8); новые построения систем контроля и управления (7); приборы контроля (19); надежность (3).

Анализ докладов позволил определить основные перспективные направления, по которым ведутся исследования и новые разработки с целью достижения высокой эффективности работы АЭС, автоматизации контроля и управления, существенного повышения надежности аппаратуры.

Большое внимание уделяется расширению использования компьютерных систем с целью реализации гибкого управления АЭС в режиме работы с переменной нагрузкой, уменьшения влияния операторов на работу АЭС и устранения отрицательных последствий, вызванных неправильными действиями. На основании анализа результатов эксплуатации 39 реакторов, проработавших в сумме более 200 реакторо-лет, фирма Вестингауз пришла к выводу, что каждый оператор делает в год в среднем 1,32 ошибки с потерей в каждом случае 27,26 ч. Убыток составляет около 350 тыс. долл. в год. Фирме удалось существенно сократить количество ошибочных действий путем введения ЭВМ с дисплеями на ЭЛТ.

Использование микропроцессоров в ответственных частях компьютерных систем существенно повышает надежность работы и позволяет, как полагают, применять их даже в системах защиты.

Важным фактором для развития автоматизированных компьютерных систем является разработка моделей процессоров и алгоритмов обработки информации. О сложности моделей можно судить по описанию тренажера для реактора АGR. Поведение реактора рассчитывается на основе 50 дифференциальных уравнений первого порядка и 130 алгебраических уравнений.

Особенно успешно компьютерная техника используется в системах контроля распределения энергонапря-

женности. При обработке информации о распределении энергонапряженности используется несколько подходов. Японские специалисты рассчитывают распределение вначале как двумерное (по радиусу) с последующим введением поправок на высоту. При использовании данных от 32 четырехсекционных детекторов нейтронов среднеквадратическая погрешность расчета распределения мощности для реактора BWR составляла 1,7%. Методика требует затрат 35 с машинного времени (ЭВМ типа IBM 370/158). Используя метод крупной сетки для реактора типа BWR и PWR (площадь ячейки охватывает 9 сборок, высота — 1 м), специалисты ФРГ сократили время расчета до 0,4 с при погрешности около 4%. Для расчетов распределения в реакторах CANDU в режиме реального времени использовался регрессионный анализ с предварительным расчетом и обращением исходных матриц. Источником информации служили 52 ванадиевых детектора со средним разбросом показаний 4,6%; вследствие разброса погрешность расчета составила 6,2%. Процедура требует небольшой памяти ЭВМ (15K слов) и затрат машинного времени в пределах 1 с. Расчеты возможны при мощности реактора начиная с 2% от номинальной.

Одновременно ведется исследование интегрированных систем, способных контролировать и управлять АЭС в целом, как единым сложным объектом, и вырабатывать наиболее рациональные режимы управления в зависимости от ситуации. Эти исследования сосредоточены в области разработки перспективной и гибкой архитектуры систем на основе распределенной структуры. Наибольших успехов в этом направлении достигли специалисты Канады. Они разработали первые варианты основных «строительных блоков», обеспечивающих связь между устройствами системы, модемы, межканальные блоки связи, мониторы диагностики и другие. Авторы отмечают трудности на пути реализации системы и оценивают предполагаемый срок окончания разработки в 5 лет.

Одной из главных особенностей распределенной структуры является приближение логических средств обработки информации, «интеллекта», к области размещения датчиков и исполнительных механизмов. Созданию подобных устройств было посвящено несколько докладов. Специалисты США провели подробный технико-экономический анализ возможной реализации распределенной структуры сложной системы контроля АЭС, в основе которой используются периферийные мультиплексоры, выполненные в различных конструктивных вариантах, в том числе на блоках КАМАК.

При построении систем контроля АЭС, не относящихся к категории обеспечения безопасности и имеющих 3000—3500 точек контроля, использование периферийных мультиплексоров дает экономию в 25—50% по сравнению с централизованным вариантом.

Французские специалисты сообщили о разработке электронной системы для АЭС с распределенной структурой и логикой, построенной на модулях КОНТРОЛЬНЫЙ БЛОК. «Строительный блок» — модуль имеет 256 входов или выходов, встроенную память с возможностью перепрограммирования, гальваническими развязками между входами и выходами. На основе этих модулей предполагается создавать системы контроля

для будущих французских АЭС мощностью 1300 МВт. Система, содержащая 66 модулей, обеспечит полностью автоматизированное управление АЭС за исключением системы защиты реактора. При разработке модуля широко использовались микропроцессоры и другие новые элементы электроники.

В докладе специалистов фирмы «Вестингауз» изложены основные характеристики внутренней архитектуры модулей, предназначенных для создания интегрированных систем защиты АЭС. Основные данные внешней архитектуры системы были доложены на симпозиуме в Мюнхене в 1976 г. Критерии, положенные в основу при разработке внутренней архитектуры, учитывают количественные и качественные особенности защитной системы реактора: надежность выполнения функций безопасности, удобство эксплуатации и ремонтнопригодность с учетом удаленности модулей и редкое обслуживание. Предусмотрена возможность реализации логики 2/4 и 2/3, защита от неправильных действий операторов.

Для упрощения программирования в модулях используется аналого-цифровая гибридная структура, которая выбиралась после тщательного анализа функций каждого типа модуля.

С учетом функциональных возможностей новых технических средств в ряде докладов были рассмотрены варианты построения аппаратных систем для быстрых реакторов, имеющих специфические особенности; оригинальные решения предусмотрены в системе контроля французского реактора «Суперфеникс».

Заметные успехи в обеспечении контроля оборудования достигнуты при использовании метода анализа шумов; именно эти методы обеспечивают возможность обнаружить аномалии на ранней стадии. Шумы разнообразных датчиков, установленных на реакторах, несут ценную информацию о поведении оборудования, которая до настоящего времени не использовалась из-за отсутствия необходимой достаточно сложной аппаратуры, методов извлечения информации и ее интерпретации. Авторы докладов использовали сигналы от нейтронных датчиков, установленных в активной зоне и вне реактора, от датчиков расхода, давления, температуры и вибродатчиков.

Почти во всех работах использовалась техника предварительной аналоговой записи реализаций сигналов длительностью 10—14 мин на магнитофон. Для выделения полезной информации использовалось вычисление спектральной плотности мощности шумов с помощью алгоритма быстрого фурье-преобразования, вычисление взаимокорреляционных функций и функций когерентности для взаимозависимых сигналов.

При исследовании механических колебаний оборудования и конструкций реакторных блоков и гидравлических процессов многие интересные явления обнаружены в полосе частот 0—20 Гц. Исследования влияния циркуляционных насосов проводились в диапазоне 0—120 Гц. В области более высоких частот 50—540 кГц исследовались явления утечек жидкости из сосудов высокого давления. В типичной конфигурации экспериментальной аппаратуры применялись

полосовые фильтры: усилители, коммутаторы аналоговых сигналов, специальная аппаратура, реализующая алгоритмы быстрого фурье-преобразования, или универсальные мини-компьютеры.

Интересные данные получены французскими специалистами. На основе анализа нейтронных шумов были обнаружены колебания управляющих стержней на частоте 12—14 Гц, колебания активной зоны в области 3,8—4,8 Гц в зависимости от мощности реактора.

Широкие исследования провели шведские специалисты на кипящем реакторе. Они исследовали шумы сигналов нейтронных детекторов, расположенных в активной зоне. Флюктуации сигналов детекторов вызывались локальными эффектами и в основном образованием пузырьков пара. При проведении экспериментов получены распределения спектральной плотности мощности шумов, которые сосредоточены в области частот 0—1,5 Гц.

На основе анализа нейтронных шумов были проведены измерения скорости движения паровых пузырьков в канале реактора и были предприняты попытки измерения величины расхода теплоносителя в канале, однако зависимость скорости движения пузырьков от расхода теплоносителя наблюдалось лишь в нижней части зоны.

В докладе японских специалистов приведены интересные сведения об использовании метода анализа шумов для обнаружения режима неустойчивости в работе испарителя и пароперегревателя с натриевым теплоносителем. Оказалось возможным обнаружить режимы неустойчивости на ранних стадиях развития явления. На основе проведенных экспериментальных работ создан штатный монитор, функционирующий в режиме реального масштаба времени.

Французские специалисты сообщили о высокой чувствительности метода анализа акустических шумов: при обнаружении утечек из сосудов под давлением в диапазоне 50—250 кГц им удалось обнаружить утечки до 1 л/ч. Однако специалисты США заметили, что имеется немало трудностей на пути внедрения этого метода.

Значительное количество докладов было посвящено разработке отдельных приборов и устройств, необходимых при организации контроля АЭС. Следует отметить, что ведутся широкие исследования и поиски новых конструктивных решений при создании важнейших элементов систем контроля — датчиков и специальных кабелей. Исследования направлены на повышение надежности, рабочей температуры и радиационной стойкости, повышение воспроизводимости результатов измерения в течение длительного времени работы. Важное значение при этом уделяется уменьшению габаритов внутриреакторных датчиков, их быстродействию, анализу структуры сигналов от датчиков типа ДПЗ.

Следует отметить хорошую организацию симпозиума, дух доброжелательства и уважения, а также теплое отношение к советской делегации французских специалистов — организаторов симпозиума.

КРАШЕНИННИКОВ И. С., ФИЛОНОВ В. С.