

Р и с. 2. Зависимость избыточного коэффициента воспроизводства ИКВ₁ от состава потребляемого плутония ($\varepsilon_j = 0$, $\rho_{239,0}^0 = 0,02$, ИКВ₁ = const)

$B_i k_i \sum_j (\mu_j / T_j) \rho_{239,j}^0$, где коэффициенты $k_i = \rho_i^0 / \rho_{239}^0$

характеризуют состав загружаемого плутония. Для стационарного режима уравнения (3), (4) решают независимо от уравнений (1) относительно только двух неизвестных $\rho_{238,j}^0$ и $\rho_{239,j}^0$, определяют все остальные концентрации и корректируют время задержки топлива в зонах, после чего операция повторяется вновь. На рис. 2 показана зависимость ИКВ₁ от состава потребляемого плутония. Как видно из рисунка, увеличение k_{240} и уменьшение k_{241} приводят к значительному возрастанию интегрального коэффициента воспроизводства.

В заключение отметим, что приближенный учет компенсирующих органов можно произвести в

рамках предложенного метода, если за базовый взять вариант реактора с оперативным запасом реактивности $\sim \left(\frac{1}{k} \frac{dk}{dE} \right) \frac{E_p}{2}$, где E_p — заданная энерговыработка между очередными перегрузками.

Выводы. Предложена эффективная методика расчета скорости загрузки и выгрузки топлива, а также его изотопного состава (в режиме непрерывной перегрузки), что необходимо для расчета физических характеристик реактора в стационарном и собственном топливных режимах.

Рассмотренная методика позволяет определять физические характеристики реактора в собственном режиме, а также исследовать их зависимость от состава потребляемого топлива.

Предложенный алгоритм делает возможным расчет физических характеристик с произвольной зависимостью микросечений, потоков, вклада в реактивность, массы тяжелых атомов, функции обогащения и других по объему реактора и оптимизацию реакторов с различной гетерогенной структурой.

Эффективность методики достигается благодаря возможности сведения распределенной задачи (с произвольным числом зон разбиения) к точечной (с одной зоной).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каграманян В. С. и др. «Атомная энергия», 1979, т. 46, вып. 4, с. 236.
2. Усынин Г. Б. «Атомная энергия», 1968, т. 25, вып. 6, с. 466.
3. Baker A. e.a. In: Proc. Symp. «Calculation for a Large Fast Reactor», Risley, 1971. TRG Rep. 2433 (R).
4. Новожилов А. И. и др. «Kernenergie», 1975, Н. 11, S. 329.
5. Орлов В. В. и др. Ibid., 1969, Н. 5, S. 112.

Поступила в Редакцию 20.08.79

УДК 621.039.562

Контроль и регулирование энергораспределения в РБМК

ЕМЕЛЬЯНОВ И. Я., ПОСТНИКОВ В. В., ВОЛОДЬКО Ю. И.

Создание реакторов РБМК связано с решением сложных научно-технических проблем в области управления процессами, протекающими в активной зоне, и, в первую очередь, в области контроля и регулирования энергораспределения. Решение задачи надежного управления энергораспределением в реакторах этого типа осложнялось рядом факторов — большой единичной мощностью и большими размерами реактора; ксеноновой нестабильностью, присущей таким реакторам; большим количеством точек контроля и органов регулирования, способных создавать высокую

загрузку оператора реактора; наличием сложной микроструктуры энергораспределения, обусловленной в начальный период эксплуатации большим числом дополнительных поглотителей, а в установившемся режиме — значительным количеством соседствующих свежих и выгоревших тепловыделяющих сборок (ТВС); наличием пространственной нестабильности, обусловленной паровым, температурным и другими коэффициентами реактивности [1]; сложностью контроля энергораспределения теплотехническими методами в каналах с кипящим теплоносителем.

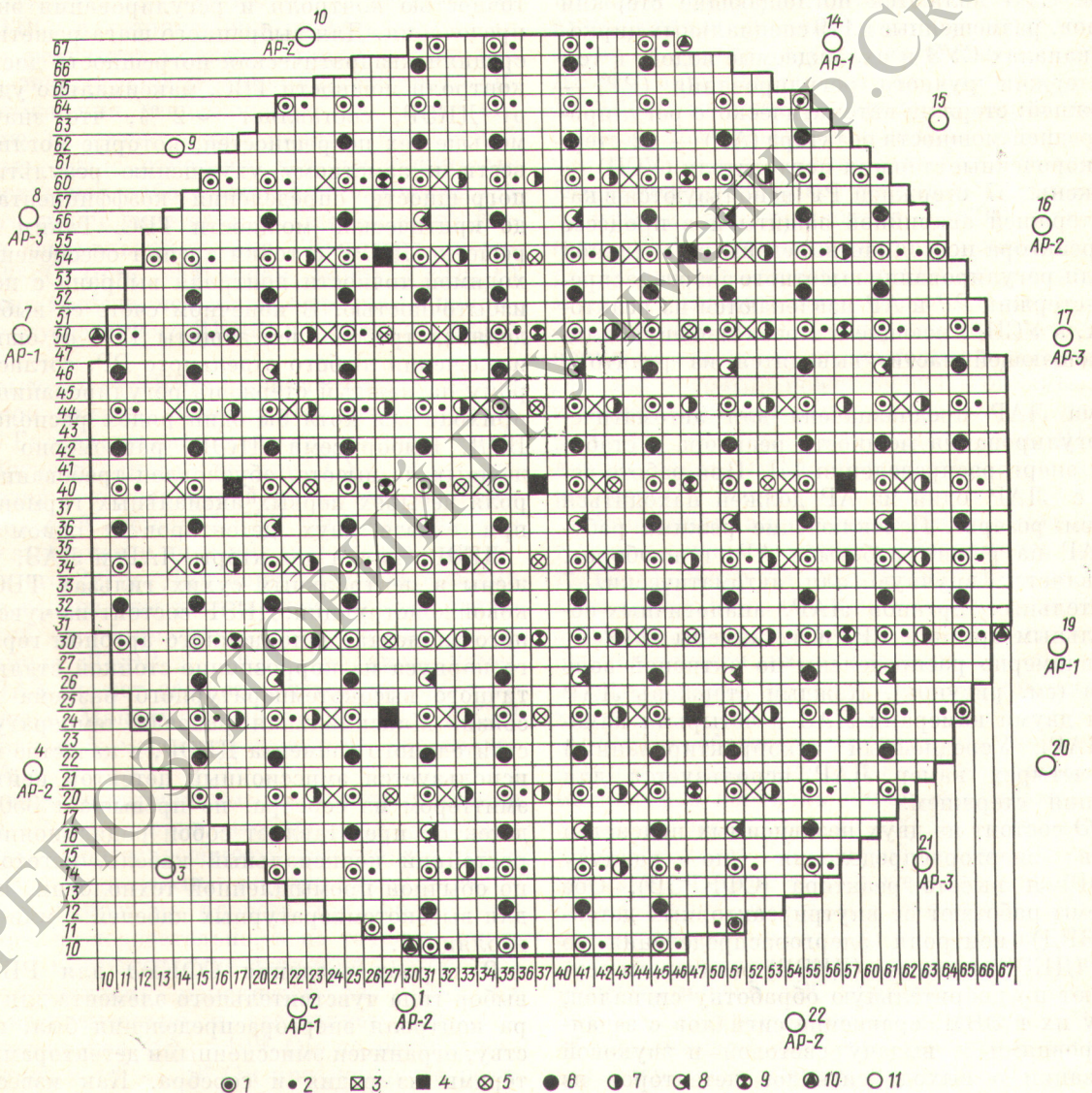
Представляется, что некоторые из этих факторов будут оказывать все более сильное влияние на структуру систем управления реакторами любых типов по мере увеличения размеров и единичной мощности реакторов и повышения требований к уровню автоматизации процессов управления АЭС.

Структура систем контроля и регулирования РБМК-1000 включает три основные системы, обладающие высокой автономностью: систему управления и защиты (СУЗ), систему физического контроля энергораспределения (СФКРЭ) и систему централизованного контроля (СЦК) «Скала». Рассмотрим основные функции и особенности

каждой системы, уделяя внимание главным образом новым структурным решениям и новым элементам оборудования.

СУЗ [2] работает от боковых ионизационных камер (БИК). В модернизированном варианте СУЗ дополнена подсистемами локального автоматического регулирования (ЛАР) и локальной аварийной защиты (ЛАЗ), в которых в качестве детекторов используются внутриреакторные триаксиальные камеры деления [3].

СУЗ, в определенной степени основанная на решениях, традиционных для больших уран-графитовых реакторов, обеспечивает контроль мощности и периода нарастания мощности реактора



Размещение управляющих стержней и ионизационных камер СУЗ и детекторов СФКРЭ РБМК-1000: 1 — ДКЭВ; 2 — канал для градуировочной гамма-камеры; 3 — детектор систем ЛАР и ЛАЗ; 4 — стержень ЛАР и ЛАЗ; 5 — стержень АР; 6 — стержень РР; 7 — стержень аварийной защиты; 8 — укороченный стержень-поглотитель; 9 — ДКЭВ; 10 — камера деления; 11 — боковая ионизационная камера (за отражателем реактора)

автоматическое поддержание мощности реактора в диапазоне 0,1–100 %; автоматическую аварийную защиту реактора по превышению его мощности и скорости нарастания мощности реактора; автоматическую аварийную защиту реактора от перекосов энергораспределения на периферии активной зоны по первым радиально-азимутальным гармоникам; контроль относительного энергораспределения на периферии реактора; ручное регулирование положения поглощающих стержней.

Размещение боковых ионизационных камер в отражателе (4 камеры) и за отражателем (24 камеры), а также внутриреакторных камер (42 камеры) показано на рисунке. Исполнительными органами СУЗ являются поглощающие стержни трех типов, размещенные в 179 специальных циркониевых каналах СУЗ и охлаждаемые водой, в том числе стержни ручного регулирования (РР) — 146 стержней; стержни автоматического регулирования средней мощности реактора (АР) — 12 стержней; укороченные стержни-поглотители (УСП) — 21 стержень. 57 стержней РР используются в качестве стержней аварийной защиты и в процессе работы реактора постоянно выведены из активной зоны. Для регулирования высотного энергораспределения стержни РР и АР извлекаются из реактора вверх, а УСП, имеющие в 2 раза меньшую длину поглощающей части, выводятся из реактора вниз.

Система ЛАР предназначена для автоматического регулирования мощности реактора и стабилизации энергораспределения [4]. При работе реактора с ЛАР один из АР должен находиться в «горячем» резерве. Переключение режима работы с ЛАР на режим работы с АР, и наоборот, осуществляется вручную или автоматически, 7 исполнительных органов ЛАР, аналогичных исполнительным органам РР, и 42 камеры ЛАР и ЛАЗ равномерно распределены по активной зоне реактора (см. рисунок). Каждый стержень ЛАР окружен двумя камерами ЛАЗ и четырьмя камерами ЛАР. Усредненный откорректированный сигнал четырех камер ЛАР используется для управления стержнем.

СФКРЭ состоит из двух независимых подсистем контроля энергораспределения по радиусу (СФКРЭР) и высоте реактора (СФКРЭВ). Обе подсистемы работают от внутриреакторных детекторов (ВРД) контроля энергораспределения по радиусу (ДКЭР) и высоте (ДКЭВ) реактора и осуществляют предварительную обработку сигналов, передачу их в ЭВМ, сравнение сигналов с заданными уровнями и выдачу световой и звуковой сигнализации о выходе сигналов детекторов из заданных пределов. СФКРЭР принимает сигналы от 130 ДКЭР, размещенных в ТВС реактора, а СФКРЭВ — от 84 ДКЭВ, размещенных в семи точках по высоте в 12 каналах ДКЭВ.

При выборе числа и размещения ВРД в реакторе учитывалось, что из-за особенностей теплообмена допустимая мощность ТВС довольно слабо зависит от относительного энергораспределения по высоте канала (вплоть до коэффициентов аксиальной неравномерности 1,7–2,0) и определяется главным образом расходом, давлением и температурой воды на входе в ТВС. Поэтому основу внутриреакторного контроля в РБМК-1000 составляет СФКРЭР; ДКЭВ предназначены в основном для контроля стабильности высотного энергораспределения и предотвращения превышений предельно допустимых линейных нагрузок на ТВС в аномальных ситуациях. Выбор числа и расположения ДКЭР определялся требуемой точностью контроля и регулирования энергораспределения. Для выбранного шага решетки ДКЭР средняя квадратическая погрешность дискретного контроля мощности ТВС, максимально удаленных от ДКЭР, составляет ~ 2 %, что значительно меньше тех погрешностей, которые могли бы привести к заметному ухудшению результирующей погрешности определения коэффициента запаса до критической мощности ТВС. Таким образом, решетка ДКЭР с точки зрения обеспечения необходимой точности контроля выбрана с некоторой избыточностью. В конечном счете ее выбор определялся требованием защиты ТВС от ошибочного извлечения любого отдельного РР, согласно которому на каждый стержень регулирования должен приходиться хотя бы один рядом расположенный ВРД. Выбор семи ДКЭВ, равномерно расположенных по высоте, обусловлен требованием контроля четырех первых аксиальных гармоник даже при отказе двух детекторов в одном канале.

ДКЭР, как и детекторы ЛАР и ЛАЗ, расположены в центральных сухих гильзах ТВС одинаковой конструкции; ДКЭР состоит из чувствительного элемента, заполненного аргоном герметичного корпуса из коррозионно-стойкой стали, герметичного высокотемпературного разъема и линий связи. Максимальная рабочая температура чувствительного элемента ДКЭР, в качестве которого используется эмиссионный детектор нейтронов с эмиттером из серебра, не превышает 350°C. Этот детектор представляет собой радиационно- и жаростойкий коаксиальный кабель, изготавливаемый по обычной промышленной технологии, принятой для высокотемпературных кабелей с минеральной изоляцией.

В период создания СФКРЭ для РБМК-1000 выбор типа чувствительного элемента для детектора контроля энергораспределения был, по существу, ограничен эмиссионными детекторами с эмиттерами из родия и серебра. Как известно [5], эмиссионные детекторы с эмиттером из серебра отличаются несколько меньшей инерционностью, чем детекторы с родиевым эмиттером, что обусловлено меньшими периодами полураспада радио-

изотопов серебра по сравнению с родием, а также благоприятным соотношением энергии β -частиц, испускаемых радиоактивными изотопами серебра, которое определяет малый вклад (меньше 13 %) в ток этого детектора от составляющей с периодом 2,4 мин и практическое отсутствие вклада от составляющей с периодом 259 сут. Кроме того, серебряный эмиттер имеет меньшую скорость выгорания по сравнению с родиевым [19 % в год вместо 34 % при плотности потока нейтронов 10^{14} нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$] и значительно меньшую зависимость чувствительности от температуры нейтронного газа. Наконец, кабель с серебряной жилой более технологичен и надежен, что весьма важно для массового производства и эксплуатации.

Срок службы ДКЭР составляет не менее срока службы ТВС, в которую они установлены (3—4 года). По результатам эксплуатации в детектор контроля энергораспределения внесены незначительные изменения, сводившиеся в основном к его упрощению и замене части паяных соединений на сварные. Было отмечено, что продолжительность безотказной работы эмиссионного детектора кабельного типа с эмиттером из серебра в воздушной среде центральной трубки ТВС при температуре $\sim 300^\circ\text{C}$ (при удаленном корпусе ДКЭР) значительно меньше, чем в среде аргона, заполняющего корпус штатного ДКЭР, и составляет около 1 года.

Семь высотных ДКЭВ расположены в сухой герметичной гильзе, наполненной смесью аргона и гелия. Гильза устанавливается в канал, который аналогичен каналу стержней СУЗ, и охлаждается водой с температурой на выходе до 75°C . Чувствительный элемент ДКЭВ того же типа, что и ДКЭР, выполнен в виде цилиндрической спирали, длина его 2,6 м. Для периодической поверки ДКЭВ по оси гильзы расположена трубка с изолированной от объема гильзы внутренней полостью. Замена ДКЭР и ДКЭВ, а также камер ЛАР и ЛАЗ, может осуществляться на работающем реакторе. Максимальный ток ДКЭР и ДКЭВ на номинальной мощности реактора составляет ~ 15 мкА.

Сохранение достаточно высокого сопротивления изоляции $R_{из}$ является необходимым условием обеспечения работоспособности детектора контроля энергораспределения, поскольку $R_{из}$ непосредственно влияет на процесс токообразования в детекторе, а следовательно, и на точность измерений [6]. Сопротивление изоляции детекторов энергораспределения изменяется за время их службы незначительно и составляет для 90—95 % детекторов 10^8 — 10^{10} Ом на остановленном реакторе и 10^7 — 10^8 Ом при мощности реактора 25—100 % номинальной. При уменьшении $R_{из}$ ниже $5 \cdot 10^5$ Ом наблюдается самопроизвольное изменение их чувствительности более чем на 10 %, не связанное с входным сопротивлением

вторичной аппаратуры, составляющим < 100 Ом. Для проверки ДКЭР и ДКЭВ в основном применяется сканирование ТВС, соседних с ДКЭР, и центральных гильз ДКЭВ на работающем реакторе с помощью малогабаритных триаксиальных камер деления.

Вторичная электронная аппаратура СФКРЭР отличается от аппаратуры других подобных систем в первую очередь тем, что она совмещает функции контроля абсолютного энергораспределения и выдачи сигналов о превышении абсолютных предельно допустимых уровней с функцией контроля относительного энергораспределения, обеспечивающей выдачу информации об отклонениях этого распределения от заданного. Контроль относительного энергораспределения осуществляется путем сравнения заданных для каждого ДКЭР опорных уровней с соответствующими сигналами ДКЭР, нормированными на суммарный сигнал ДКЭР. На мнемотабло перед оператором выдаются сигналы при превышении опорных уровней более чем на 5, 10 и при занижении более чем на 10 %. Нормирование снижает погрешность системы, связанную с инерционностью ДКЭР при работе в режимах быстрых изменений мощности реактора, сохраняет неизменной для оператора информацию на мнемотабло о форме энергораспределения при изменениях мощности. Для оценки отклонения от заданного относительного энергораспределения оператор может смещать опорные уровни в канале относительного контроля в диапазоне ± 15 %. Самописец суммарного тока ДКЭР является основным прибором контроля мощности реактора.

Вторичная электронная аппаратура СФКРЭВ также совмещает функции абсолютного и относительного контроля энергораспределения. Структура СФКРЭВ отличается от структуры СФКРЭР лишь тем, что нормировка сигнала каждого ДКЭВ осуществляется на суммарный ток семи ДКЭВ одного канала, а не на суммарный ток всех детекторов.

СФКРЭ обеспечивает контроль энергораспределения в диапазоне от 10 до 100 % номинальной мощности и контроль тепловой мощности реактора в диапазоне от 5 до 100 %.

СЦК «Скала» [7], основой которой служит специализированная вычислительная машина В-3М, осуществляет контроль, расчетную обработку, представление оператору и регистрацию подавляющего большинства технологических параметров реактора и всей АЭС в целом. Обработка сигналов в СЦК проводится по программе ПРИЗМА, обеспечивающей расчеты мощности всех ТВС; предельно допустимой мощности каждой ТВС, соответствующей заданной вероятности бескризисной работы ТВС; коэффициентов запаса K_3 до предельно допустимой мощности каждой ТВС; вероятности бескризисной работы каждой ТВС

и всего реактора в целом; паросодержания в каждой ТВС; энерговыработки каждой ТВС и всего реактора; запасов реактивности; выгорания ДКЭР и ДКЭВ; рекомендуемых регулировок расходов воды через ТВС; опорных и предельно допустимых уровней сигналов ДКЭР и ДКЭВ; амплитуд аксиальных гармоник, характеризующих высотные перекосы энергораспределения в местах размещения сборок ДКЭВ; общереакторных параметров (мощность реактора по СФКРЭ и теплотехническим приборам, коэффициенты неравномерности энергораспределения, суммарные мощности и расходы в отдельных областях реактора); рекомендуемых перемещений стержней СУЗ и т.п. ПРИЗМА проводит также расчетно-логическую диагностику некоторых видов реакторного оборудования; накопление данных на внешних носителях информации для последующего статистического анализа и циклическую регистрацию данных для анализа аварийных ситуаций. Ячейки, в которых рассчитанный или измеренный параметр (K_3 , мощность ТВС, расход воды и т. п.) отличается от заданного, высвечиваются на мнемотабло. Результаты расчетов печатаются в виде картограмм с указанием типа каждого канала (ТВС, РР, УСП, АР, ДКЭР и т. п.) и поканальных параметров — расхода воды, паросодержания, положения стержня СУЗ. Картограмма сопровождается краткой сводкой общереакторных параметров и перечнем шестидесяти наиболее напряженных ТВС с максимальной мощностью и минимальным K_3 . Расчеты проводятся через 5—8 мин.

Математическое обеспечение эксплуатации РБМК обусловлено сложностью или невозможностью непосредственного контроля многих параметров, в том числе связанных с обеспечением безопасной работы активной зоны реактора. Эти параметры контролируются косвенно на основе расчетов в СЦК «Скала» с использованием результатов более сложных расчетов, проводимых на внешней ЭВМ БЭСМ-6. Обмен информацией между БЭСМ-6 и СЦК реакторов РБМК-1000 Курской и Чернобыльской АЭС осуществляется автоматически с помощью устройства связи Аккорд 1200М. Программно-математическое обеспечение эксплуатации РБМК-1000 включает следующие программы: ПРИЗМА — для стационарной ЭВМ; БОКРУС — для периодических физических расчетов на БЭСМ-6 оптимального энергораспределения и положений стержней регулирования; БОКР, ЛЕН и КВАРЦ — для обработки на БЭСМ-6 измерений по поверке ДКЭР; АНАЛОГ — для периодической проверки ПРИЗМЫ на БЭСМ-6.

Профилирование распределенных по реактору параметров, таких, как мощность ТВС, поканальные расходы воды, опорные уровни СФКРЭ и др., существенно влияет на безопасность и экономику РБМК. Показателем, по которому должна проводиться оптимизация любых параметров энергетического

реактора как при проектировании, так и при эксплуатации, являются, очевидно, приведенные затраты η на 1 кВт·ч с учетом различных ограничений, налагаемых в первую очередь требованиями безопасности АЭС. В отдельных случаях, когда большинство параметров зафиксировано, допустима оптимизация одного параметра, влияющего на η . Так, в задаче взаимного профилирования энергораспределения и расходов в качестве такого параметра для РБМК-1000 выбирается максимальная вероятность бескризисной работы активной зоны. Базовой исходной информацией при этом служит регламентированное макрораспределение энерговыделения по радиусу реактора, влияющее на предельно допустимую мощность реактора, удельную энерговыработку топлива, динамическую устойчивость энергораспределения и баланс реактивности. Для каждого укрупненного этапа эксплуатации реактора регламентированное макрораспределение энерговыделения определяется из оптимизационных расчетов на внешней ЭВМ.

Порядок управления энергораспределением в РБМК-1000 оператором включает наблюдения за энергораспределением по сигнализации СФКРЭ, мнемотабло и распечаткам СЦК и за параметрами, связанными с энергораспределением (распределение K_3 , распределение расходов воды, общеконтурные теплотехнические параметры); выдачу указаний по изменениям расходов воды, опорных уровней СФКРЭ, положений корректоров камер СУЗ с использованием рекомендаций СЦК; действия по прямому регулированию энергораспределения перемещением стержней регулирования и изменением уровней задатчиков АР или ЛАР и по изменению режимов работы систем контроля и регулирования (включение и переключение АР и ЛАР, вызов на регистрацию сигналов СФКРЭ, данных СЦК и т. п.). Интенсивность ручных воздействий оператора на стержни СУЗ в стационарных режимах снижается при переходе с АР на ЛАР в 2—5 раз. При перегрузке ТВС на мощности регулирование энергораспределения может осуществляться с применением и без применения ЛАР, в первом случае работа оператора упрощается. Каждой перегрузке ТВС предшествует регулировка расхода в области перегрузки. Ручное регулирование энергораспределения проводится поочередным перемещением РР и УСП, при этом устраняются общереакторные и локальные перекосы по радиусу и высоте.

Таким образом, комплекс систем контроля и регулирования представляет собой иерархическую структуру с практически независимыми подсистемами в основании, объединенными по функциям контроля с помощью СЦК, находящейся в вершине структуры. Подобные структуры, обеспечивая высокую надежность и живучесть всего комплекса, тем не менее создают большую загрузку опера-

тора (и прочего оперативного персонала) действиями по согласованию работы отдельных систем нижнего уровня, по ручному регулированию энергораспределения и т. п.

Совершенствование систем управления энерго-распределением в реакторах типа РБМК стало в настоящее время необходимостью, которую определяют следующие факторы:

увеличение удельных тепловых нагрузок на топливо и другие элементы конструкции активных зон, существенное увеличение числа точек контро-ля и органов регулирования в РБМК следующего поколения (РБМК-1500, РБМКП-2400);

постоянный рост требований к безопасности реакторов и повышению надежности оборудования АЭС;

необходимость снижения загрузки оператора реактора и повышения экономичности АЭС;

необходимость работы АЭС в режимах перемен-ных нагрузок.

Опыт эксплуатации РБМК-1000 позволяет дать обоснованные практикой предложения о даль-нейшем совершенствовании реакторов этого типа. Для совершенствования систем управления энерго-распределением в условиях, когда действуют эти факторы, необходимо дальнейшее вовлечение в управление ЭВМ. Расширение сферы участия ЭВМ в управлении требует решения новых задач и в первую очередь вопросов безопасности. Необ-ходимо найти правильное сочетание аналоговых автономных систем с системами, построенными на серийных ЭВМ. Одним из возможных решений может быть комплексная система контроля, регу-лирования и защиты реактора, которая включает традиционную для РБМК-1000 СУЗ, работающую от боковых ионизационных камер; систему кон-троля и регулирования энергораспределения (СКРЭ), выполненную на аналоговых средствах, работающую от 252 радиальных и 80 высотных ВРД и обеспечивающую локальную защиту от грубых нарушений установленных запасов по кризису и линейной тепловой нагрузке ТВС, передачу нормированных сигналов ВРД в ана-логовый ЛАР и ЭВМ; управляющую вычислитель-ную систему, состоящую из нескольких выполненных на ЭВМ подсистем и ЭВМ высшего уровня, причем каждая подсистема выполнена на несколь-ких ЭВМ.

Комплекс систем контроля и регулирования реактора имеет иерархическую структуру, на первом уровне которой находятся аналоговые системы (СУЗ и СКРЭ), нормирующие и передаю-щие сигналы детекторов в системы второго уров-ня, выполненные на ЭВМ и осуществляющие рас-четную обработку данных, представление инфор-мации оператору, автоматическое (через СУЗ) регулирование энергораспределения, диагностику состояния оборудования и локальную аварийную

защиту с учетом текущих запасов по кризису и тепловой нагрузке ТВС. На третьем уровне находится мощная ЭВМ, выполняющая сложные физические и оптимизационные расчеты и обеспе-чивающая связь с внешней ЭВМ энергосистемы.

Автономная цифровая подсистема защиты вто-рого уровня (рассчитывающая предельно допу-стимые уровни сигналов ВРД и сравнивающая их с текущими сигналами ВРД) выполняет функ-ции цифровой защиты, а СКРЭ и СУЗ — аналого-вой защиты. Управляющие функции СУЗ и СКРЭ резервируют аналогичные функции, выполняемые управляющей вычислительной системой. В каче-стве ДКЭР используются безынерционные эмис-сионные детекторы кабельного типа с эмитером, содержащим гафний, а в качестве ДКЭВ — сбор-ки из двух триаксиальных гамма-камер. В каждом из 20 каналов высотного контроля в сухих гиль-зах, охлаждаемых водой контура СУЗ, установ-лено по четыре таких сборки. Характерной чертой комплекса является обеспечение локальной авто-матической аварийной защиты реактора от оши-бочного извлечения любого регулирующего стерж-ня. Комплекс рассчитан на полную автоматиза-цию управления энергораспределением реактора в стационарных и переходных режимах работы.

В целом дальнейшее совершенствование средств автоматизации и ЭВМ на АЭС с РБМК не должно сопровождаться увеличением выдаваемой опера-тору информации, советов и пр., а должно идти по пути автоматизации управления установкой с обязательной выдачей оператору лишь тех дан-ных, которые свидетельствуют об аномальных, не предусмотренных в алгоритмах контроля и регу-лирования ситуациях. Оператора следует защи-тить от избыточной рутинной информации, чтобы сосредоточить его внимание на основных факто-рах, определяющих безопасность и эффективность работы реактора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров А. П., Доллежалъ Н. А. «Атомная энер-гия», 1977, т. 43, вып. 5, с. 337.
2. Емельянов И. Я. В кн.: Вопросы атомной науки и тех-ники. Сер. физика и техника ядерных реакторов. Вып. 1 (21). М., изд. ЦНИИАтоминформ, 1978, с. 36.
3. Емельянов И. Я. и др. «Атомная энергия», 1977, т. 43, вып. 1, с. 44.
4. Емельянов И. Я. и др. В кн.: Вопросы атомной науки и техники. Сер. физика и техника ядерных реакторов. Вып. 1 (5). М., изд. ЦНИИАтоминформ, 1979, с. 3.
5. Емельянов И. Я. и др. «Атомная энергия», 1973, т. 34, вып. 3, с. 203.
6. Емельянов И. Я. и др. Там же, 1974, т. 37, вып. 1, с. 72.
7. Адасько В. И. и др. Системы контроля и управления технологическими процессами атомных электростанций с применением управляющих вычислительных машин. Всемирный электротехнический конгресс. М., июнь 1977, секция 7.

Поступила в Редакцию 14.05.79