

УДК 621.039.562:621.039.517

Система внутриреакторного контроля за распределением мощности в реакторах Билибинской АЭС

АНДРЕЕВ Л. Г., ДУБОВСКИЙ Б. Г., ЗАГАДКИН В. А., КОРЯГИН Е. В., ЛЮБЧЕНКО В. Ф., МИТЕЛЬМАН М. Г., МОХНАТКИН К. Н., ПОЧИВАЛИН Г. П., РОЗЕНЕЛЮМ Н. Д., СОЛДАТОВ Г. Е., СУХОВЕРКО В. Б.

Реакторы Билибинской АЭС оснащены системами внутриреакторного контроля за распределением мощности (ВРК). Контроль распределения мощности в реакторе имеет чрезвычайно важное значение. Оператор, управляющий реактором, видя точную картину распределения мощности по зоне, может оперативно воздействовать на распределение нейтронов в реакторе и способствовать получению максимальной эффективности его эксплуатации.

В настоящей статье приводятся основные технические данные системы ВРК и обобщается опыт ее эксплуатации.

Реакторы Билибинской АЭС — уран-графитовые с отводом тепла кипящей водой. Система внутриреакторного контроля реакторов первого и второго блоков (ЭГП-6) состоит из 22, а третьего блока из 37 детекторов прямого заряда типа ДПЗ-76 и электронной аппаратуры «Прохлада» (ВЭТ-01) и предназначена для контроля распределения мощности по радиусу активной зоны реактора [1, 2].

Длина чувствительной части детекторов ДПЗ-76 равна высоте активной зоны реактора, детекторы установлены в отверстия графитовой кладки реактора.

Ниже приведены основные технические данные ДПЗ-76:

Чувствительность, А·см ² ·с/нейтр.	
к тепловым нейтронам	$(3,9 \pm 0,3) 10^{-19}$
к надтепловым нейтронам	$(9,9 \pm 0,9) 10^{-19}$
Изменение чувствительности за счет выгорания, %/(А·с)	0,027
Разброс начальной чувствительности, %	± 2
Рабочая температура, °С	600

Линия связи ДПЗ-76, выполненная из кабеля с минеральной изоляцией и защищенная в пределах реактора металлорукавом, выводится из-под защиты реактора и подсоединяется к клеммнику. Отсюда экранированным кабелем сигналы подаются на вход измерительной аппаратуры.

Аппаратура ВЭТ-01 является контрольно-измерительным аналоговым устройством, в задачи которого входят усиление и нормирование сигналов ДПЗ, контроль за относительным уровнем этих сигналов и сигнализация об отклонении от зоны заданных значений. Аппаратура вырабатывает также сигнал, равный среднему значению нормированных сигналов ДПЗ и пропорциональный мощности реактора.

В состав аппаратуры (рис. 4) входят показывающие и регистрирующие приборы, информирующие оператора о распределении мощности по объему активной зоны и полной мощности реактора, а также интерполирующее устройство, представляющее собой специализированную аналоговую вычислительную машину, рассчитывающую мощность каналов реактора по показаниям ДПЗ. Аппаратура построена по каналному принципу.

Резисторами R_1 нормируются сигналы ДПЗ, резисторами R_2 задается распределение мощности в реакторе, а делителями R_3 и R_4 — зона нормальных значений мощности. Элементарной основой схемы являются интегральные микросхемы 140-й серии.

Ниже приведены основные технические данные аппаратуры ВЭТ-01:

Число измерительных каналов	40
Рабочий диапазон сигналов на выходе нормирующих усилителей, В	0,2—5
Основная погрешность нормирующих усилителей, %	не более $\pm 0,5$
Основная погрешность устройства сигнализации, %	не более ± 1
Рабочий диапазон температур, °С	15—35

При работе реактора в режиме, когда выгоранием топлива и материала эмиттера ДПЗ можно пренебречь, показания ДПЗ пропорциональны мощности. В ходе кампании вследствие выгорания топлива и чувствительной части детектора может произойти нарушение пропорциональности между показаниями детекторов и мощностью.

Для оценки соответствия показания детекторов мощности реактора в течение кампании расчетным путем была исследована величина $\gamma = W_i/i_t$, где W_i — мощность топливного канала (ТК) в течение кампании; i_t — показания ДПЗ за это же время.

Несимметричная геометрия расположения ДПЗ по отношению к ТК не дала возможности провести прямые расчеты детектора совместно с ТК. В этом случае отдельно проводились расчеты изменения физических параметров канала в течение кампании и параметров ячейки, состоящей из ДПЗ, окруженного графитом. Расчеты ячейки ТК и ячейки ДПЗ (графит) проводились в двухгрупповом представлении нейтронного спектра. В качестве границы между группами была выбрана

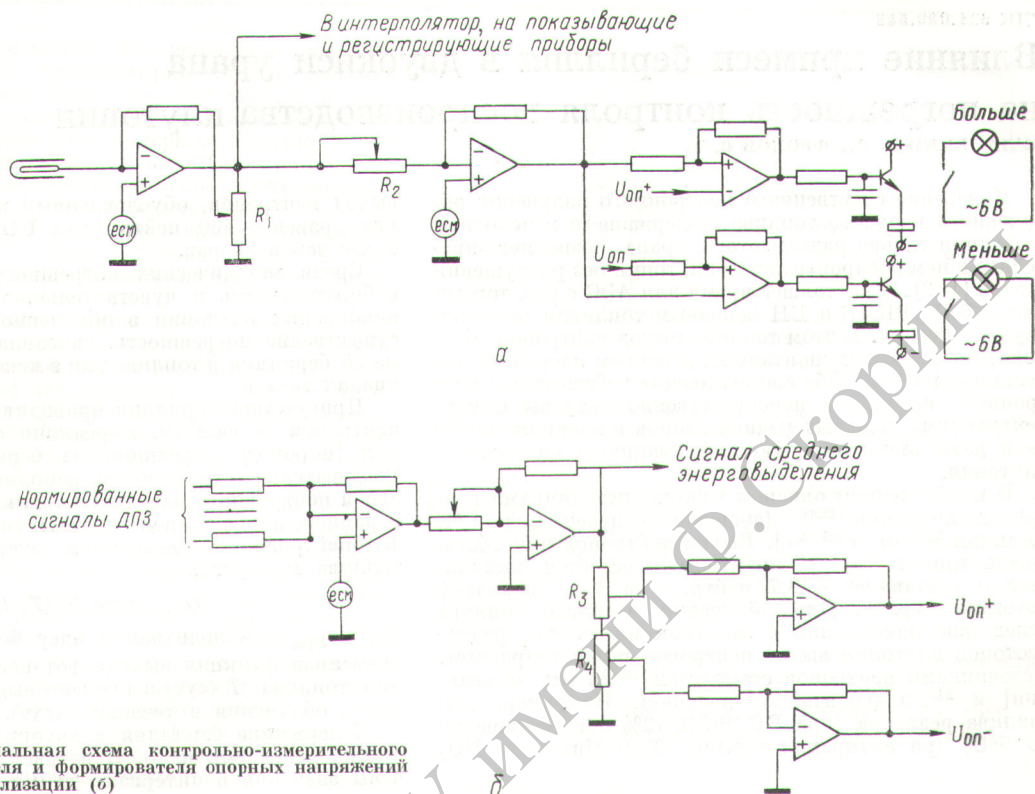


Рис. 1. Функциональная схема контрольно-измерительного тракта (а), усреднителя и формирователя опорных напряжений для устройства сигнализации (б)

энергия 0,386 эВ, соответствующая граничной энергии кадмия.

Гетерогенные эффекты в тепловой области спектра определялись путем решения кинетического уравнения Больцмана в P_5 -приближении с учетом термализации нейтронов в предположении, что поглощение нейтронов в основном происходит в тепловой области и утечка их из ячеек мала. Гетерогенные эффекты в резонансной области для тонких блоков, к которым относятся ДПЗ, рассчитывались по теории Гуревича — Померанчука. При этом предполагалось, что ДПЗ установлен в графит между ТК средней мощности, равной 226 кВт. Из рис. 2 следует, что погрешность определения мощности ТК с помощью описанных ДПЗ не превышает $\pm 6\%$ ($\pm 3\%$) при энерговыработке каналом 200 МВт·сут.

Система ВРК реактора первого блока Билибинской АЭС была сдана в эксплуатацию в январе 1974 г., второго блока — в январе 1975 г., третьего блока — в декабре 1975 г. За это время в первом месяце эксплуатации вышел из строя один детектор. Таким образом, из 22 ДПЗ за два года эксплуатации из строя

вышел один и из 44 за один год эксплуатации также один детектор, что соответствует вероятности безотказной работы ДПЗ в течение двух лет и одного года (0,85 и 0,94 соответственно) [3]. Сопротивление изоляции детекторов (0,17—3 МОм) практически не меняется в ходе эксплуатации и обеспечивает надежную регистрацию показаний ДПЗ аппаратурой «Прохлада».

На рис. 2 дано отношение тепловой мощности реактора к среднему току ДПЗ — чувствительность системы ДПЗ как датчика тепловой мощности реактора, которая не изменяется в течение двух лет эксплуатации, что хорошо согласуется с расчетными данными. Разброс опытных точек составляет $\pm 6,5\%$ и находится в пределах точности эксперимента, определяемой погрешностью в измерении тепловой мощности реактора. Средние значения чувствительности систем ДПЗ как датчика тепловой мощности реактора совпадают для первого и второго блоков с погрешностью $\pm 1,15\%$, что позволяет использовать средний ток ДПЗ для измерения мощности реактора.

Поступило в Редакцию 2/IV 1975 г.
В окончательной редакции 1/IV 1976 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мительман М. Г. и др. В сб.: Метрология нейтронного излучения на реакторах и ускорителях. Т. 1. М., «Стандарты», 1972, с. 115.
2. Бабулевич Е. Н. и др. «Атомная энергия», 1971, т. 31, вып. 5, с. 465.
3. ГОСТ 13216—67. Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации. Надежность. Общие технические требования и методы испытаний.

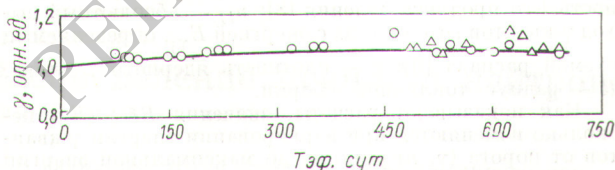


Рис. 2. Зависимость нормированного на начало кампании отношения W_i/k_i от времени:

— расчет; эксперимент: \circ , Δ — первый и второй блоки