

Система контроля мощности топливных каналов реактора II блока Белоярской АЭС

ДУБОВСКИЙ Б. Г., ЕВСЕЕВ А. Я., ЕЖОВ В. В., ЗАГАДКИН В. А., ЛЮБЧЕНКО В. Ф., БАТЕНИН И. Г., АНДРЕЕВ Л. Г., МАЛЫШЕВ В. М., МИТЕЛЬМАН М. Г., МОХНАТКИН К. Н., РОЗЕНБЛЮМ Н. Д., СНИТКО Э. И., ШАШАРИН Г. А.,

УДК 621.039.562:621.039.517

В настоящее время одним из основных вопросов, возникающих при эксплуатации ядерных реакторов, является выравнивание и поддержание оптимальным распределения мощности в активной зоне ядерного реактора. Действующая система контроля распределения мощности повышает надежность реактора и позволяет улучшить его экономические показатели.

В настоящей работе приведены основные данные по конструкции и опыту эксплуатации системы контроля мощности топливных каналов (ТК) реактора II блока Белоярской АЭС (БАЭС). В качестве датчиков системы выбраны детекторы прямого заряда (ДПЗ) [1, 2].

При конструировании системы выдержан основной принцип: размещение датчиков в активной зоне не должно мешать нормальной эксплуатации реактора. В связи с этим исключалась установка датчиков в пустых ячейках вместо ТК, что снижало мощность реактора, а также ограничивалась возможность установки в испарительных каналах (ИК), поскольку в этом случае датчики устанавливаются в теплообителе первого контура, что снижает его расход в данном канале и значительно усложняет монтаж и эксплуатацию системы.

Для установки датчика были выбраны центральные отверстия пароперегревательных каналов (ППК), что привело к необходимости создания ДПЗ, способных работать при температуре 700° С. Поскольку опыт эксплуатации показал, что не существует электрического разема, надежно работающего в области высоких температур и повышенной влажности вблизи активной зоны реактора, конструкция детектора должна быть такова, чтобы линия связи составляла одно целое с детектором, а разъемы (клеммник) находились вне пределов реактора. Детектор, удовлетворяющий этому требованию, а также ряду других, предъявляемых к внутризонным детекторам, разработан и успешно прошел производственные испытания [1]. Основные характеристики детекторов типа ДПЗ-7, используемых в системе контроля мощности ТК БАЭС, следующие:

Диаметр чувствительного элемента, мм	6
Длина чувствительного элемента, мм	6000
Длина линии связи, мм	15000—17000

Начальная чувствительность к тепловым нейтронам, $a \cdot \text{см}^2 \cdot \text{сек} / \text{нейтр}$	$(7,8 \pm 0,6) \cdot 10^{-19}$
Начальная чувствительность к надтепловым нейтронам, $a \cdot \text{см}^2 \cdot \text{сек} / \text{нейтр}$	$(19,8 \pm 1,8) \cdot 10^{-19}$
Изменение чувствительности за счет выгорания материала эмиттера, % $a \cdot \text{сек}$	$0,013 \pm 0,0016$
Градуировочная характеристика относительно плотности потока нейтронов	Линейная
Неидентичность, %	± 2
Вероятность безотказной работы в течение 10 000 ч	0,8
Рабочая температура, °С	700
Диаметр эмиттера (родий), мм	0,5

Аппаратура для измерения токов ДПЗ с диапазонами 0—15 и 0—3 мкА при основной погрешности $\pm 1,5$ и $\pm 2,5$ % соответственно и входным сопротивлением не выше 1 ком обеспечивает регистрацию токов 100 ДПЗ на электронном автоматическом потенциометре ЭПП-09МЗ. ДПЗ к аппаратуре подключают группами по 20 детекторов. Предусмотрен вывод среднего значения тока каждой группы на односточный самописец. Блок коммутации представляет собой релейное устройство, осуществляющее по сигналу с блока управления подключение любой группы ДПЗ к входному блоку. Цикл обегания всех датчиков определяется скоростью записи на ЭПП-09МЗ. Предусмотрен режим измерения сопротивления детекторов.

Система контроля мощности ТК на реакторе II блока БАЭС состоит из 92 ДПЗ, равномерно распределенных по активной зоне; 72 установлено в ППК, а 20 в ИК для снятия более полного распределения мощности по реактору. Система смонтирована в июне 1970 г. после успешной эксплуатации 12 опытных ДПЗ, установленных в марте 1968 г.

В ходе эксплуатации системы следовало определить чувствительность ДПЗ, как датчика мощности ТК, а также ее изменение в процессе кампании. Ввиду того что на БАЭС не существует эталонного метода определения мощности ТК с высокой точностью, принят следующий метод определения указанных величин.

Тепловая мощность реактора, а также тепловая мощность всех 266 ППК определялась теплотехническим методом с погрешностью ± 4 %. Зная средний ток ДПЗ, установленных в ППК, чувствительность ДПЗ как датчика

мощности ТК можно определить по формуле

$$\gamma = \frac{W}{N\bar{i}}, \quad (1)$$

где W — мощность зоны ППК; N — число ППК; \bar{i} — средний ток ДПЗ, определенный с учетом времени установки ДПЗ (поправка на выгорание).

Максимально допустимая погрешность экспериментального определения среднего значения чувствительности ДПЗ вычислялась по формуле

$$\delta\gamma = \delta W + \delta i + \delta\bar{i}, \quad (2)$$

где δW , $\delta\bar{i}$, δi — максимальные погрешности определения тепловой мощности зоны ППК, среднего арифметического тока детектора и измерения тока ДПЗ соответственно ($\delta\gamma$ равна $\pm 8\%$).

На рис. 1 показано изменение величины γ во времени. В пределах точности эксперимента ($\pm 5\%$) величина γ не изменяется в течение 54 месяцев

$$\gamma = 61 \pm 5 \text{ квт/мка.}$$

К сожалению, не всегда ДПЗ могут быть установлены в «свежий» ТК. Иногда детекторы системы контроля устанавливаются в каналы, уже длительное время находившиеся в эксплуатации. Это может быть связано или с установкой системы контроля на работающий реактор, или при замене ДПЗ, вышедшего из строя. Поскольку чувствительность вышедшего из строя ДПЗ в конце его работы вследствие выгорания снизилась, для сравнения показаний старого и нового детекторов следует внести поправку в показания нового ДПЗ. Практически для этого удобно привести показания всех ДПЗ к случаю установки их в «свежий» канал. Зависимость снижения чувствительности ДПЗ от энерговыработки канала, в который он установлен, показана на рис. 2.

Максимально допустимая погрешность определения относительной мощности ТК, в котором

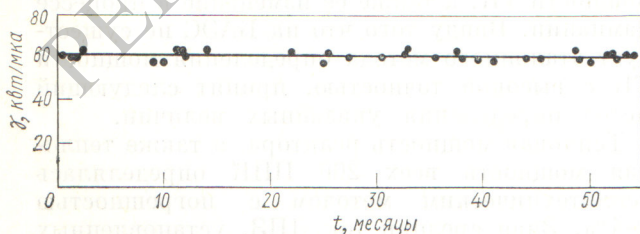


Рис. 1. Зависимость чувствительности ДПЗ от времени.

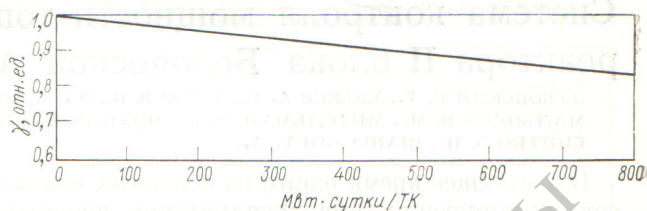


Рис. 2. Зависимость уменьшения чувствительности ДПЗ от энерговыработки ТК.

установлен детектор, вычисляется по формуле

$$\frac{\Delta W}{W} = \frac{\Delta i}{i} + \delta_{\text{ДПЗ}} + \delta_{\text{К}}, \quad (3)$$

где i — ток ДПЗ; $\delta_{\text{ДПЗ}}$ — неидентичность ДПЗ; $\delta_{\text{К}}$ — неидентичность ППК.

Влияние неидентичности каналов ППК на показания ДПЗ, обусловленное главным образом неодинаковой загрузкой ^{235}U в ППК, определено расчетом. (Расчет проведен Э. М. Куровой.) На рис. 3 показано, как зависит коэффициент γ от обогащения топлива в ППК. Принимая с запасом $\delta_{\text{К}} = 5\%$, получаем максимальную погрешность определения относительной мощности ТК, в котором установлен детектор, равную $\pm 9\%$.

Важнейшей эксплуатационной характеристикой ДПЗ является их надежность. Заводской гарантийный срок службы детекторов ДПЗ-7, установленных в ППК, один год при доверительной вероятности $P^* = 0,8$. Фактически при эксплуатации системы по разным причинам выходит из строя за год около 10% детекторов.

Эксплуатация системы в 1970—1972 гг. показала, что с ее помощью можно оперативно выравнивать мощности ТК и формировать оптимальное распределение мощностей, а также определять и устранять перекосы мощности в активной зоне. Так, после вывода реактора на мощ-

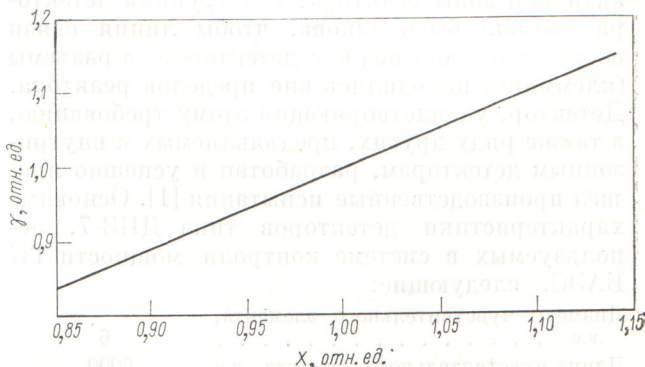
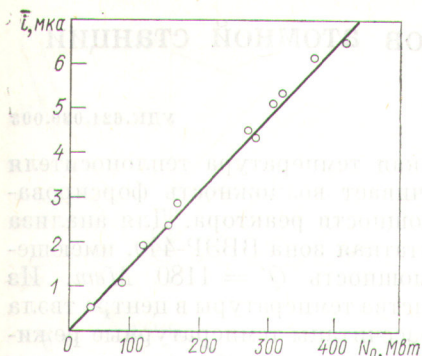


Рис. 3. Зависимость чувствительности ДПЗ от обогащения урана в ППК.



Р и с. 4. Зависимость среднего тока ДПЗ от тепловой мощности реактора.

реактора и, следовательно, его тепловой мощности, что показано на рис. 4, где по оси абсцисс отложена тепловая мощность реактора, а по оси ординат средний ток ДПЗ. Разброс экспериментальных точек обусловлен погрешностью определения тепловой мощности реактора. Рассматриваемая система может быть также использована для контроля полной мощности реактора.

В настоящее время аналогичная система контроля смонтирована на реакторе I блока БАЭС.

Поступила в Редакцию 19/IV 1973 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабулевич Е. Н. и др. Датчик прямой зарядки для определения потока нейтронов в энергетических реакторах. — «Атомная энергия», 1971, т. 31, вып. 5, с. 465.
2. Мительман М. Г. и др. Детекторы прямой зарядки (современное состояние). — В кн.: Метрология нейтронного излучения на реакторах и ускорителях. М., «Стандарты», 1972, т. 1, с. 115.

ПОРЯДОК ДЕПОНИРОВАНИЯ СТАТЕЙ

Депонирование статей осуществляется или по просьбе авторов, или по решению редакционной коллегии журнала.

В журнале печатаются подробные аннотации статей, а полные тексты хранятся в редакции в течение пяти лет и высылаются читателям по их требованию наложенным платежом. Объем аннотации не должен превышать 2 стр. машинописного текста, а объем депонируемого текста — 12 стр. В отдельных случаях в аннотацию можно включить рисунок, таблицу, основные формулы и т. п. (уменьшив соответственно объем текстового материала аннотации).

Депонированные статьи являются научными публикациями и учитываются при защите диссертаций.

Статьи, представленные для депонирования, должны быть окончательно обработаны авторами и пригодны для фотографического воспроизведения (первый экземпляр), в связи с чем необходимо соблюдать следующие правила их подготовки.

1. Текст следует печатать на машинке с жирной черной лентой через два интервала на одной стороне белой односортовой бумаги форматом 21×30 см с полями сверху, слева и снизу не менее 3 см и справа 1 см. При перепечатке текста на первой странице необходимо отступать на 10 см сверху (место для клише «Атомная энергия»). Никакие поправки чернилами или карандашом над словами не допускаются. Исправления выполняются путем вклеивания.

2. Необходимо вписывать формулы тушью или черными чернилами; разметку формул в тексте (подчеркивание красным или синим карандашом и т. д.) делать не следует.

3. Рисунки необходимо выполнять на ватманской бумаге или на кальке, наклеивать их на стандартные форматные страницы и помещать в конце статьи, после таблиц и списка литературы. Каждый рисунок следует снабжать подписанной подписью. Рисунки должны быть достаточно отчетливыми для фотографического воспроизведения. Включение в рукопись тоновых рисунков не допускается в связи с трудностью их копирования. В необходимых случаях тоновый рисунок выполняется штриховым методом.

4. Допускается в виде исключения печатать отдельные (большие) таблицы на неформатных листах (вклейках).

5. Все страницы рукописи (включая приложения) должны быть пронумерованы (первой страницей считается титульный лист, на нем цифра «1» не ставится, на следующей странице проставляется цифра «2» и т. д.). Порядковый номер печатается в середине верхнего поля страницы.

6. Первый экземпляр рукописи должен быть подписан автором в конце статьи.

В случае несоблюдения указанных правил оформления статей рукописи возвращаются авторам.

Копии текстов депонированных статей рассылаются читателям по их запросам без ограничений. При оформлении заказа на тексты необходимо указывать регистрационный номер статьи, который помещен в конце аннотации. Советским читателям копии высылаются наложенным платежом; цена одной копии 40 коп.

Заказы направлять в редакцию журнала по адресу: 101876, Москва, Центр, ул. Кирова, 18. Тел.: 223-51-89.