

УДК 621.039.562:621.039.55

Внутризонная система автоматического регулирования мощности реактора ИРТ-М

АНДРЕЕВ Л. Г., КАНДЕРОВ Ю. И., МИТЕЛЬМАН М. Г., РОЗЕНБЛУМ Н. Д.,
ЧЕРНЫШЕВИЧ В. П., ШИПОВСКИХ Ю. М.

В настоящей работе приведены результаты разработки внутризонной системы автоматического регулирования мощности реактора ИРТ-М и определения некоторых метрологических характеристик системы внутризонных детекторов с корректором инерционности в сравнении с внезонными штатными ионизационными камерами. Датчиками системы автоматического

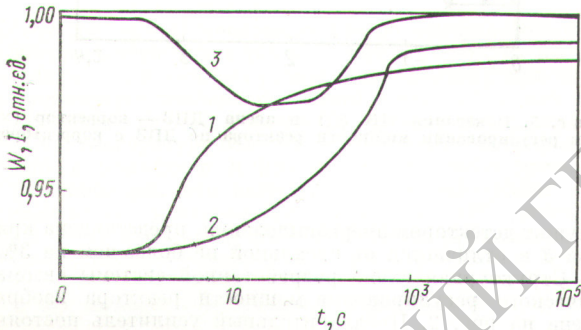
регулирования мощности служили детекторы прямого заряда (ДПЗ) с эмиттерами из родия, используемые в системе внутрореакторного контроля (ВРК) реактора ИРТ-М. Система ВРК состоит из шести сборок ДПЗ, размещенных по диаметру активной зоны, а каждая сборка — из пяти расположенных по высоте активной зоны серийных ДПЗ-1п [1].

ДПЗ являются в настоящее время наиболее перспективными среди внутрореакторных детекторов энерговыделения для применения в любых реакторах [2]. Активационные ДПЗ инерционны вследствие времени распада наведенного изотопа, но применение несложных корректирующих устройств позволяет практически безинерционно измерять плотность потока нейтронов [3]. Функция передачи $W(p)$ корректирующего устройства должна соответствовать условию

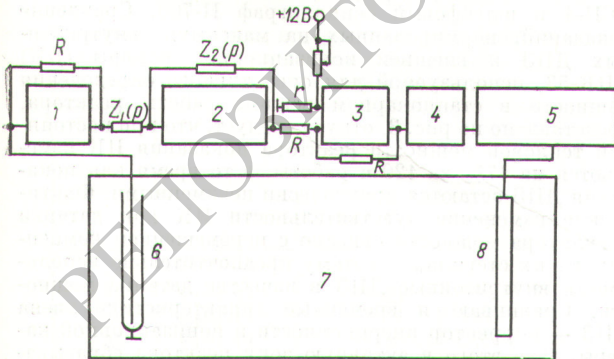
$$H(p)W(p) = K,$$

где K — статический коэффициент передачи звена ДПЗ — корректор; $H(p)$ — функция передачи ДПЗ, $p = d/dt$.

Благодаря высокой чувствительности, позволяющей обеспечить благоприятное соотношение сигнал-фон,

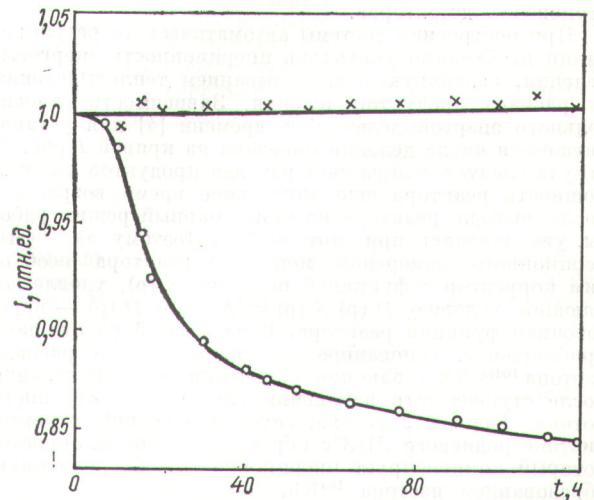


Р и с. 1. Вклад в энерговыделение реактора от распада продуктов деления и переходные характеристики звеньев ДПЗ — корректор и реактор — ДПЗ — корректор



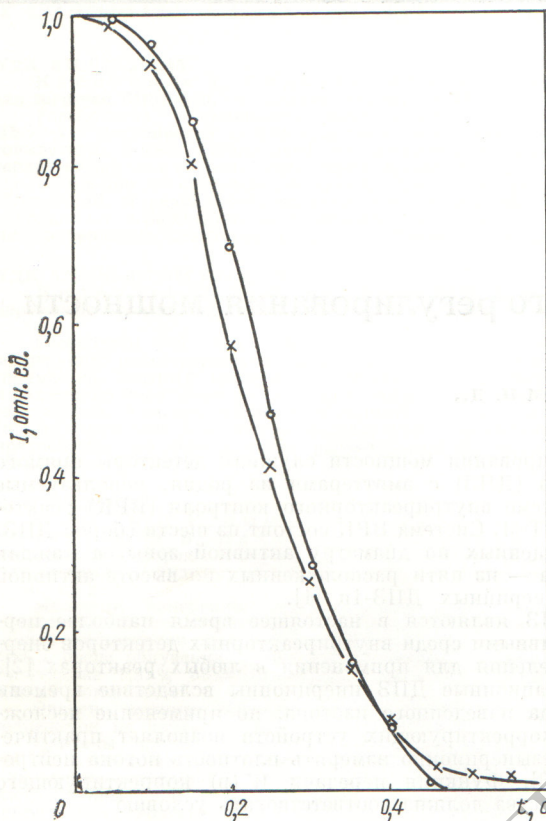
Р и с. 2. Структурная схема системы автоматического регулирования мощности реактора ИРТ-М:

1 — усилитель постоянного тока; 2 — корректор; 3 — задатчик мощности; 4 — усилитель регулятора мощности; 5 — электромашиный усилитель с сервоприводом; 6 — детектор прямого заряда; 7 — реактор; 8 — стержни автоматического регулирования



Р и с. 3. Сравнение тока ИК и ДПЗ за недельный цикл работы реактора ИРТ-М:

× — суммарный ток ДПЗ; ○ — ток ИК

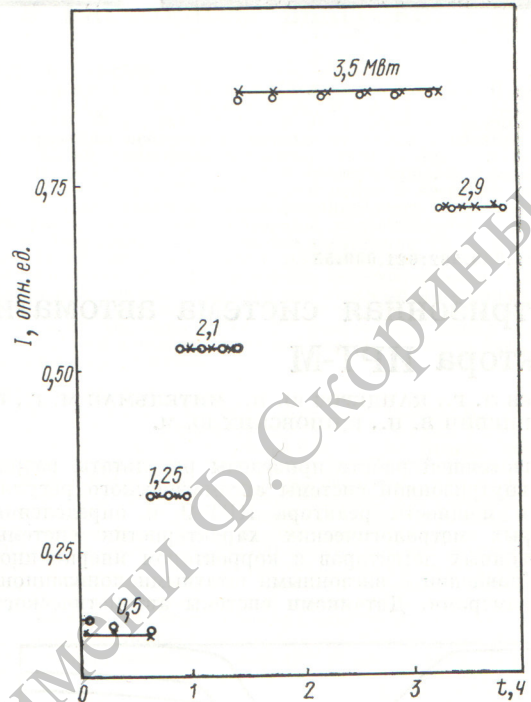


Р и с. 4. Показания ИК (○) и звена ДПЗ — корректор (×) при сбросе в активную зону стержней СУЗ

ДПЗ с эмиттером из родия обладают большим преимуществом перед другими типами активационных и комптоновских детекторов.

При построении системы автоматического регулирования необходимо учитывать инерционность энерговыделения, связанную с запаздыванием тепловыделения от распада продуктов деления. Зависимость относительного энерговыделения от времени [4] для установившегося числа делений показана на кривой 1 рис. 1, откуда следует, что за счет распада продуктов деления мощность реактора еще длительное время возрастает после вывода реактора на стационарный режим работы, увеличиваясь при этом на 7%. Поэтому для безинерционного измерения мощности реактора необходим корректор с функцией передачи $S(p)$, удовлетворяющий условию $D(p)S(p) = K$, где $D(p)$ — передаточная функция реактора. В настоящей работе дано приближение, основанное на сходстве закона распада изотопа ^{104m}Rh с законом изменения энерговыделения после ступенчатого изменения плотности нейтронного потока. Кривая 2 соответствует переходной характеристике родиевого ДПЗ с корректором инерционности, который компенсирует инерционность, обусловленную образованием изотопа ^{104}Rh .

Переходная характеристика звена реактор — ДПЗ с корректором инерционности, где ДПЗ с корректором



Р и с. 5. Показания ИК (○) и звена ДПЗ — корректор (×) при регулировании мощности реактора по ДПЗ с корректором

служит детектором энерговыделения, представлена кривой 3 и отличается от идеальной не более чем на 3%.

Структурная схема разработанной системы автоматического регулирования мощности реактора изображена на рис. 2. Предварительный усилитель постоянного тока (УПТ) усиливает ток ДПЗ и согласует потенциальный вход корректора инерционности с ДПЗ. Задатчик мощности (ЗМ) выполнен на микросхемах К2УТ402. Регистратором мощности служат самописец КСП-4 и шлейфовый осциллограф Н-700. Сравнение показаний, нормированных на максимум, внутризонных ДПЗ и внешней ионизационной камеры (ИК) КНК-53, используемой для оперативного определения мощности в стационарном режиме работы реактора, представлено на рис. 3, откуда следует, что при постоянной тепловой мощности реактора показания ИК изменяются на 17% за 120 ч работы, в то время как показания ДПЗ остаются практически неизменными. Фактическое изменение чувствительности ИК как датчика регулятора мощности связано с перемещением компенсирующих стержней, поэтому предпочтительно использовать внутризонные ДПЗ в качестве датчика мощности. Сравниваются временные характеристики звена ДПЗ — корректор инерционности и ионизационной камеры. Для этого в активную зону реактора сбрасывались стержни аварийной защиты и компенсирующие стержни, а показания ДПЗ — корректор и ИК записывались на шлейфовом осциллографе. Результаты измерений, нормированные на максимум, представлены на рис. 4. Анализ переходных процессов при быстром введении отрицательной реактивности показывает, что

в интервале относительных сигналов 0,05-1,0 инерционность звена ДПЗ — корректор не хуже инерционности ИК. Инерционность последней, определяемая постоянной времени с учетом емкости линии связи и сопротивления нагрузки, а также временем прохождения нейтронов до ИК, составляет $(1 \div 10) 10^{-3}$ с. Расхождение показаний ДПЗ и ИК при относительном значении сигнала $< 0,05$ объясняется инерционностью энерговыделения, не измеряемой ИК. В режиме автоматического регулирования мощности были проведены испытания аппаратуры (см. рис. 2). При этом сравнивались показания суммарного тока ДПЗ и ионизационной камеры. На рис. 5 приведена зависимость показаний ДПЗ и ИК от времени при разной тепловой мощности реактора, откуда следует, что в диапазоне мощностей 0,5 — 3,5 МВт регулирование было эффективным.

Авторы выражают благодарность Б. К. Игнатову за обсуждение работы и постоянный интерес к ней

и В. М. Вертоградскому за помощь в проведении некоторых экспериментов.

Поступило в Редакцию 30/XII 1975 г.
В окончательной редакции 19/V 1975 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Детекторы прямого заряда, технические условия ТУ16-538, 243—74.
2. Мительман М. Г. и др. В сб.: Метрология нейтронного излучения на реакторах и ускорителях. М., Изд-во стандартов, 1972, т. 1, с. 115.
3. Розенблом Н. Д. и др. В сб.: Дозиметрия интенсивных потоков ионизирующих излучений. Ташкент, «Фан», 1969, с. 130.
4. Вейнберг А., Вигнер В. Физическая теория ядерных реакторов. М., Изд-во иностр. лит., 1961, с. 129.

УДК 621.039.531:669.45

Определение температуры облучения

путем измерения постоянной решетки радиационных пор

КОНОБЕЕВ Ю. В.

В работе [1] предложен способ определения температуры облучения в тех участках реактора на быстрых нейтронах, в которых размещение термпар или других индикаторов температуры невозможно по тем или иным причинам. Способ основан на высокой чувствительности к температуре облучения постоянной ОЦК-решетки пор в молибдене и других жаропрочных металлах, возникающей, как известно, в этих материалах после облучения нейтронными потоками 10^{22} нейтр./см² ($E > 0,1$ МэВ) и измеряемой методами трансмиссионной электронной микроскопии. Было предложено [1] следующее соотношение между постоянной решетки пор a_L и абсолютной температурой облучения T :

$$a_L = \alpha T; \alpha = 0,32 \text{ \AA/K.} \quad (1)$$

Сравнение рассчитанных по формуле (1) значений a_L с экспериментальными (таблица) свидетельствует

Экспериментальные и расчетные значения постоянной решетки пор в облученном быстрыми нейтронами молибдене

$T_{\text{обл.}}$, °C	Реактор	Постоянная решетки пор, \AA			
		Эксперимент a_L , \AA	Расчет по формулам		
			(1)	(2)	(3)
430	EBR-11	220 [2]	225	205	221
580	EBR-11	270 [2]	272	272	268
585	EBR-11	265 [3]	275	274	270
640	DGR	300 [4]	292	304	293
680	EBR-11	320 [2]	305	328	312
800	EBR-11	390—410 [2]	343	412	390
900	EBR-11	470 [2]	375	497	491
1000	EBR-11	660 [2]	407	600	664

о плохом описании опытных данных для молибдена, облученного в реакторе при повышенных температурах. Несколько лучшего согласия с экспериментом можно добиться, если воспользоваться зависимостью $N_V \sim \exp(-\beta T)$ [2] для описания температурного хода концентрации пор в облученных металлах и учесть, что N_V и a_L связаны для ОЦК-решетки соотношением $N_V = 2/a_L^3$. В таблице приведены значения a_L , рассчитанные на основе зависимости

$$a_L = 54,57 \exp\left(\frac{T}{530,79}\right), \text{ \AA} \quad (2)$$

найденной путем обработки экспериментальных данных методом наименьших квадратов. При $T_{\text{обл}} = 1000^\circ \text{C}$ расчетное значение a_L отличается от экспериментального на величину, значительно превосходящую погрешность измерения a_L (таблица).

Цель настоящего сообщения — показать, что существующие экспериментальные данные для a_L в молибдене хорошо описываются зависимостью

$$a_L = 121 \text{ \AA} \frac{1558 \text{ K}}{1558 \text{ K} - T} \quad (3)$$

Критическая температура $T_c = 1558 \text{ K} = 0,52 T_{\text{пл}}$ совпадает с верхней температурной границей существования вакансионной пористости в жаропрочных металлах. Зависимость (3) может указывать на существование особого фазового перехода, связанного с образованием пространственной решетки пор. Согласно формуле (3), концентрация полостей должна зависеть от температуры облучения следующим образом:

$$N_v \sim \left(\frac{T_c - T}{T_c}\right)^3 \quad (4)$$

и при $T \rightarrow 0$ достигать максимального значения, равного для молибдена $1,1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Для дальнейшей