

Датчик прямой зарядки для определения потока нейтронов в энергетических реакторах

В. В. БАБУЛЕВИЧ, М. Ю. БЕЛАВИН, Е. И. ГРИШАНИН, Б. Г. ДУБОВСКИЙ, В. А. ЗАГАДКИН, В. С. КИРСАНОВ, И. М. КИСИЛЬ, А. А. КОНОНОВИЧ, В. Ф. ЛЮБЧЕНКО, М. Г. МИТЕЛЬМАН, В. В. МОХНАТКИН, Г. П. ПОЧИВАЛИН, Н. Д. РОЗЕНБЛУМ

УДК 539.1.074.88

Для эффективной эксплуатации АЭС необходимо правильно профилировать и поддерживать (или изменять) в процессе кампании распределение нейтронов по активной зоне.

Используемые для этой цели внутриреакторные датчики отличаются работоспособностью в течение кампании реактора при температурах 750° С и выше. Они слабо реагируют на γ -излучение реактора. Датчик линеен относительно потока нейтронов в широком диапазоне изменения последнего. Выгорание нейтронночувствительного материала невелико и учитывается внесением расчетных поправок, предварительная калибровка исключается технологически достижимой идентичностью, применение внешнего источника питания нежелательно, требования к сопротивлению изоляции минимальны, а размеры датчиков не должны вызывать затруднений при их расположении и осуществлении технологического процесса.

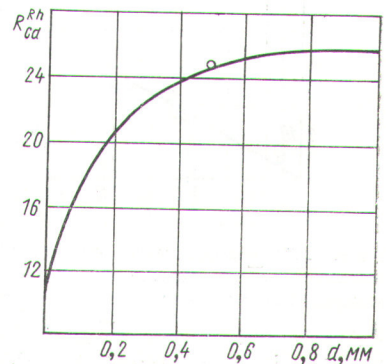
Для высокотемпературных реакторов всем этим требованиям отвечают детекторы прямой зарядки (ДПЗ) * [1—6]. Измерение потока нейтронов этим датчиком равноценно методу фольг, но отличается от последнего токовым способом определения наведенной активности, что облегчает измерения и делает их оперативными. Метрологические особенности метода фольг характерны и для ДПЗ: линейность относительно потока нейтронов, независимость показаний от температуры, слабая чувствительность к γ -фону и т. д. ДПЗ просты по конструкции и легки в изготовлении, не нуждаются во внешнем источнике питания, работоспособны при высоких температурах; поперечные размеры их невелики: существуют ДПЗ с внешним диаметром менее 1,5 мм. Нижний предел чувствительности ДПЗ определяется характеристиками измерительной схемы, а в верхний предел работоспособности — допустимыми темпом выгорания материала эмиттера и уменьшением сопротивления изоляции при увеличении температуры. Инерционность, связанная с конеч-

стью постоянной распада наведенной активности, можно компенсировать с помощью корректирующих схем [7, 8].

На рис. 1 приведена расчетная зависимость кадмиевого отношения R_{Cd}^{Rh} от диаметра радиевого эмиттера d при неизменном спектре нейтронов. Величина $R_{Cd}^{Rh} \gg R_{Cd}^{Au}$ и тем больше, чем больше диаметр эмиттера, т. е. подавляющая часть наведенной активности вызвана тепловыми нейтронами. Отсюда влияние изменения спектра на величину тока ДПЗ должно быть небольшим и уменьшаться с увеличением диаметра эмиттера. Экспериментальное значение R_{Cd}^{Rh} на реакторе МР, где $R_{Cd}^{Au} = 5,2$, для эмиттера диаметром 0,48 мм равно 25, что хорошо согласуется с расчетом.

Идентичность ДПЗ определяется сопротивлением изоляции и допусками на размеры его конструктивных элементов. В реакторе Белоярской АЭС (БАЭС) при температуре свыше 650° С в месте расположения ДПЗ сопротивление изоляции равно $\sim 10^5$ ом. Оно практически не меняется в процессе эксплуатации и при правильном выборе входного сопротивления измерительного прибора почти не влияет на идентичность ДПЗ, которая равна более $\pm 2\%$ [9] и может быть доведена до $\pm 1\%$.

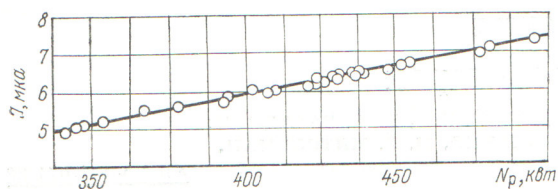
Линейность показаний ДПЗ при изменении мощности реактора экспериментально проверялась на ряде реакторов. На рис. 2 приведен результат для ДПЗ в тепловыделяющей сборке



Р и с. 1. Зависимость R_{Cd}^{Rh} (расчет) от диаметра эмиттера:

○ — экспериментальное значение R_{Cd}^{Rh} в реакторе с $R_{Cd}^{Au} = 5,2$.

* Зарубежные названия этих датчиков: бета-эмиссионные, PENA (Primary Electrons of Neutron Activations), SPD (Self-Powered Detectors) и т. д.

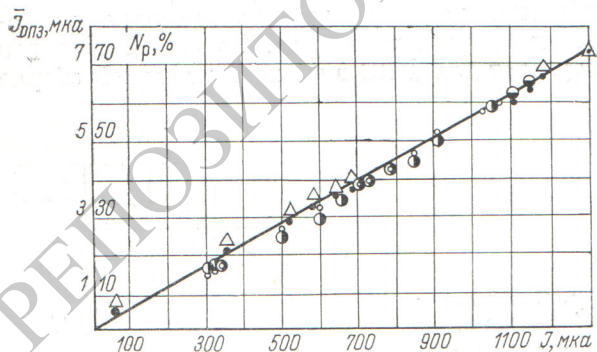


Р и с. 2. Зависимость тока ДПЗ от мощности реактора МР.

МР. Максимальная погрешность определения тепловой мощности сборки $\pm 2\%$. Видна линейная зависимость тока ДПЗ от мощности сборки; разброс экспериментальных точек находится в пределах погрешности измерений. На этом реакторе прослежена линейность показаний ДПЗ при изменении потока в 10^3 раз.

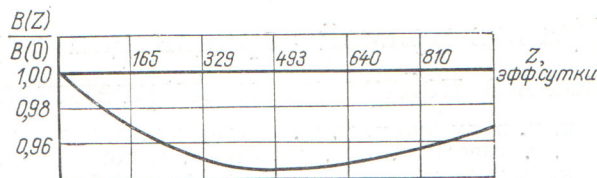
На рис. 3 представлена корреляция среднего тока по 12 ДПЗ, установленным в пароперегревательные каналы реактора второго блока БАЭС, и тока штатных ионизационных камер, а также корреляция тока камер и тепловой мощности реактора. Видна линейная зависимость между током ДПЗ и потоком нейтронов. Разброс экспериментальных точек не превышает $\pm 4\%$. Аналогичные данные получены и на других реакторах.

Ресурсные испытания проведены на реакторах СМ-2, МР, Обнинской и Белоярской АЭС. На реакторе СМ-2 ДПЗ выдерживались в сухом ампульном канале при температуре 650°C , а один из датчиков — при температуре 900°C . При интегральном потоке $3 \cdot 10^{21}$ нейтр/см² детекторы сохранили работоспособность (в реакторе БАЭС этот поток превышает интегральный поток за кампанию). На реакторах Обнинской



Р и с. 3. Корреляция между токами ДПЗ ($\bar{J}_{\text{ДПЗ}}$) и ионизационной камеры (\bar{J}), а также мощностью реактора (N_p , %) и \bar{J} (нормировка точек по максимальной ординате).

Выход на мощность: \circ — $\bar{J}_{\text{ДПЗ}}$, 17/X-1968 г.; \bullet — $\bar{J}_{\text{ДПЗ}}$, 6/XII-1968; \ominus — N_p , 17/X-1968, г.; \triangle — N_p , 6/XII-1968 г.



Р и с. 4. Изменение отношения $B(Z) = \frac{J_{\text{ДПЗ}}}{N_{\text{ТВ.С}}}$ в зависимости от выгорания делящегося изотопа $Z = \Phi \sigma_f t$, где σ_f — сечение деления; Φ — поток нейтронов; t — время облучения.

АЭС и первого блока БАЭС детекторы испытывались в течение 1,5—2,5 лет при 600°C . На реакторе второго блока БАЭС испытываются ДПЗ с родиевыми и серебряными эмиттерами. К началу января 1970 г. родиевые ДПЗ проработали 22 месяца, серебряные — 17 месяцев. Все ДПЗ сохранили работоспособность, сопротивление изоляции практически не изменилось.

Важной характеристикой является изменение во времени отношения тока ДПЗ к мощности тепловыделяющей сборки $N_{\text{ТВ.С}}$, в которую вставлен ДПЗ. Это изменение связано с различным темпом выгорания эмиттера и делящегося материала. Однако для реакторов с относительно невысоким обогащением урана (например, БАЭС), как показали расчеты, это изменение невелико. Из рис. 4 следует, что за три эффективных года эксплуатации ДПЗ, на реакторе второго блока БАЭС максимальное изменение указанного отношения не превышает 5%. Можно ввести расчетную поправку в величину тока ДПЗ при восстановлении распределений энерговыделения по дискретным точкам. Максимальная погрешность в определении относительной мощности топливных каналов, оснащенных ДПЗ, составляет $\pm 8\%$.

Поступила в Редакцию 11/V 1970 г.
В окончательной редакции 7/XII 1970 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Г. Мительман, Н. Д. Розенблюм, Р. С. Ерофеев. «Атомная энергия», 10, 72 (1961).
2. Н. Д. Розенблюм и др. В сб. «Дозиметрия больших доз». Ташкент, «Фанлар», 1966, стр. 135.
3. J. Hilborn. Nucleonics, 22, 69 (1964).
4. G. Casarelli. Energia Nucleare, 10, 431 (1963).
5. P. Mass, P. Seiers. Rapp. CEA-R-2560 (1964).
6. W. Loosemore et al. Radiation Measurements in Nucl. Power. Proc. of Intern. Conf., 1966.
7. Н. Д. Розенблюм и др. В сб. «Дозиметрия интенсивных потоков ионизирующих излучений». Ташкент, «Фанлар», 1969, стр. 130.
8. Г. Корн, Т. Корн. Электронные аналоговые и вычислительные машины. Т. 1, М., «Мир», 1967.
9. Детекторы нейтронов прямой зарядки типа ДПЗ. М., В/О «Изотоп», 1970.