

УДК 621.039.517

Изменение чувствительности нейтронных детекторов с эмиттером из серебра при длительной работе в реакторе

ЕМЕЛЬЯНОВ И. Я., ВОЛОДЬКО Ю. И., ПОСТНИКОВ В. В., СТЕКЛОВ В. О., УВАРОВ В. И.

При контроле плотности потока нейтронов в реакторах широко используются β -эмиссионные детекторы нейтронов (БЭДН), в частности БЭДН с эмиттером из серебра [1, 2]. Для изготовления БЭДН часто применяется технология, используемая при производстве кабелей с магнезиальной изоляцией. Такая технология позволяет организовать серийное производство БЭДН практически без ограничений по длине чувствительной части детектора.

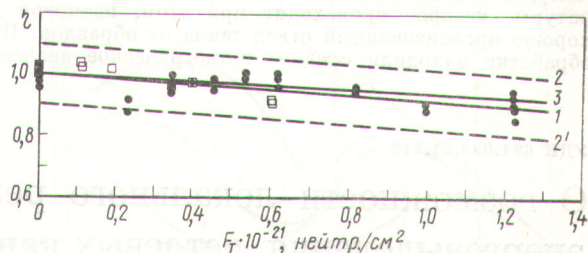
Испытывались БЭДН с эмиттером из серебра, представляющие собой отрезки кабеля КДМС(С) (ТУМИ 098-69), изготовленного по технологии, применяемой при производстве кабелей с магнезиальной изоляцией. Кабель имеет жилу из серебра Ср-999 (ГОСТ 7222-54) диаметром 0,55 мм, изоляцию из окиси магния марки ч. д. а. (ГОСТ 4526-67) и оболочку из коррозионно-стойкой стали Х18Н10Т толщиной 0,5 мм. Наружный диаметр кабеля 3,0 мм.

Ресурсные радиационные испытания БЭДН проводились в реакторе ИВВ-2 до флюенса тепловых нейтронов $2,4 \cdot 10^{21}$ нейтр./см² при температуре $\sim 650^\circ\text{C}$, а также в реакторах первого и второго блоков Белоярской АЭС (БАЭС) до флюенса $1 \cdot 10^{21}$ нейтр./см² при температуре $\sim 300^\circ\text{C}$. Испытания показали, что средний ток БЭДН пропорционален мощности реактора и средней плотности потока нейтронов до значения мощности реакторов первого и второго блоков БАЭС и ИВВ-2, близкой к номинальной, т. е. при плотности потока тепловых нейтронов соответственно до $1 \cdot 10^{13}$; $2 \cdot 10^{13}$ и $1 \cdot 10^{14}$ нейтр./(см²·с). Пропорциональность сохраняется при длительной работе вплоть до указанных значений флюенса тепловых нейтронов. Образцы БЭДН (в реакторе ИВВ-2 — 7, в реакторе второго блока БАЭС — 4, в реакторе первого блока БАЭС — свыше 30 образцов) сохранили в испытаниях достаточно высокое сопротивление изоляции. Так, при номинальной мощности реакторов оно было не хуже 10^6 Ом·м.

Помимо образцов БЭДН, представляющих собой прямой отрезок кабеля-детектора, испытывались два пятисекционных БЭДН для контроля энергораспределения по высоте реактора первого блока БАЭС. Секции БЭДН, находившиеся при температуре $\sim 80^\circ\text{C}$, представляли собой отрезки кабеля-детектора, свернутые в цилиндрическую спираль. Сигнал каждой секции передавался на регистрирующую аппаратуру по кабелю КНМС(С) [3]. Пятисекционные БЭДН сохранили линейность сигнала и достаточно высокое сопротивление изоляции при работе в реакторе в течение более двух лет. Испытания подтвердили длительную работоспособность БЭДН кабельного типа с эмиттером из серебра.

Однако для контроля энергораспределения в реакторах необходимы также прецизионные данные об изменении чувствительности БЭДН в зависимости от флюенса тепловых нейтронов. Для получения таких данных в реактор ИВВ-2 были установлены два экспериментальных канала, содержащих соответственно 7 и 9 образцов БЭДН. Облучаемая длина кабеля-детектора составляла 0,7 м. При номинальной мощности реактора температура образцов $\sim 80^\circ\text{C}$, средняя плотность потока тепловых нейтронов $4,7 \cdot 10^{13}$ нейтр./(см²·с), средняя плотность потока быстрых нейтронов ($E > 1$ МэВ) равна $1,2 \cdot 10^{13}$ нейтр./(см²·с), средняя мощность дозы γ -излучения — $1,0 \cdot 10^5$ рад/с.

Помимо определения чувствительности периодически проверялась линейность БЭДН и измерялось сопротивление изоляции детекторов при различной интенсивности облучения. Для прецизионного контроля плотности потока нейтронов периодически в течение свыше 1,5 лет измерялась активность проволоки диаметром 2,0 мм из серебра Ср 999. Проволоку облучали в экспериментальном канале рядом с образцами БЭДН в течение 10 мин при мощности реактора, близкой к номинальной. После выдержки в том же канале на 3—5 м выше активной зоны в течение 1 ч активность с периодами полураспада 24,4 с и 2,4 мин практически полностью распадалась. Оставшаяся активность с периодом 259 сут невелика (мощность дозы γ -излучения на расстоянии 0,1 м составляет менее 100 мкР/с) и за время измерений практически не изменяется, чем обеспечиваются удобство работы с индикатором и повышенная точность результатов измерений.



Зависимость чувствительности БЭДН от флюенса тепловых нейтронов F_T :

1 — кривая, соответствующая приведенной формуле; 2 и 2' — доверительные пределы при доверительной вероятности 0,98; 3 — расчетная кривая; первый (●) и второй (□) экспериментальные каналы

Сопротивление изоляции БЭДН при различных значениях плотности потока и флюенса тепловых нейтронов

$\Phi_{Т, \text{нейтр.}} / (\text{см}^2 \cdot \text{с})$	$F_T, \text{нейтр.} / \text{см}^2$											
	10^{18}	$0,93 \cdot 10^{20}$	$1,9 \cdot 10^{20}$	$2,3 \cdot 10^{20}$	$3,4 \cdot 10^{20}$	$4,0 \cdot 10^{20}$	$4,6 \cdot 10^{20}$	$5,3 \cdot 10^{20}$	$6,1 \cdot 10^{20}$	$8,2 \cdot 10^{20}$	$9,9 \cdot 10^{20}$	$1,2 \cdot 10^{21}$
$4,7 \cdot 10^{12}$	—	$6,4 \cdot 10^8$	—	—	—	—	$5,3 \cdot 10^8$	—	—	—	—	$5,8 \cdot 10^8$
$9,6 \cdot 10^{12}$	$2,3 \cdot 10^8$	—	—	—	—	—	$4,2 \cdot 10^8$	—	—	—	—	—
$1,4 \cdot 10^{13}$	$1,6 \cdot 10^8$	—	—	—	—	—	$3,8 \cdot 10^8$	—	—	—	—	$4,2 \cdot 10^8$
$2,2 \cdot 10^{13}$	$1,2 \cdot 10^8$	$1,4 \cdot 10^8$	—	—	—	—	$2,7 \cdot 10^8$	—	$1,6 \cdot 10^8$	—	—	—
$2,6 \cdot 10^{13}$	—	—	$1,0 \cdot 10^8$	—	$3,8 \cdot 10^8$	—	$2,2 \cdot 10^8$	—	$2,0 \cdot 10^8$	—	—	$3,0 \cdot 10^8$
$3,1 \cdot 10^{13}$	—	—	$2,5 \cdot 10^8$	—	—	—	$3,1 \cdot 10^8$	—	$2,0 \cdot 10^8$	—	—	—
$4,2 \cdot 10^{13}$	$1,1 \cdot 10^8$	$9,5 \cdot 10^7$	$7,8 \cdot 10^7$	—	$3,6 \cdot 10^8$	$4,8 \cdot 10^8$	$1,9 \cdot 10^8$	$2,3 \cdot 10^8$	$2,1 \cdot 10^7$	$8,4 \cdot 10^8$	$1,7 \cdot 10^8$	$1,7 \cdot 10^8$

Все образцы сохранили работоспособность при флюенсе тепловых нейтронов $1,2 \cdot 10^{21}$ и $8,8 \times 10^{20}$ нейтр./см² в первом и втором экспериментальных каналах. Испытания показали, что линейность показаний БЭДН относительно нейтронного потока сохраняется с погрешностью $\pm 2\%$ при указанной интенсивности излучения вплоть до достигнутых значений флюенса тепловых нейтронов.

Результаты измерений, представленные на рисунке, обработаны по методу наименьших квадратов. В итоге получена эмпирическая формула, характеризующая относительное изменение чувствительности БЭДН с серебряным эмиттером от флюенса тепловых нейтронов F_T :

$$\eta = 1 - 0,08 \cdot F_T \cdot 10^{-21}$$

На рисунке приведена кривая, соответствующая этой формуле, и доверительные пределы при доверительной вероятности 0,98. Кроме того, приведена расчетная кривая изменения чувствительности БЭДН в результате выгорания материала эмиттера и роста флюенса тепловых нейтронов. Как видно из рисунка, расчетная кривая близка экспериментальной. При флюенсе 10^{21} нейтр./см² расчетное изменение чувствительности составляет 6%, а определенное по приведенной формуле — 8%.

Сопротивление изоляции БЭДН слабо зависит от интенсивности облучения при неизменной температуре [2]. Незначительное снижение сопротивления изоляции БЭДН по мере увеличения интенсивности облучения, наблюдаемое в данном эксперименте, связано, по-видимому, с относительно небольшим повышением температуры, которое происходит при этом, несмотря на хорошо организованный отвод тепла от образцов. При обработке находили среднее геометрическое значение

сопротивления изоляции БЭДН отдельно по образцам, установленным в каждом канале. Эти значения для различных интенсивности облучения и флюенса нейтронов представлены в таблице. Можно видеть, что сопротивление изоляции БЭДН при постоянной интенсивности облучения не обнаруживает тенденции к изменению с увеличением флюенса нейтронов вплоть до $1,2 \cdot 10^{21}$ нейтр./см² и составляет $\sim 10^8$ Ом·м.

Зная флюенс нейтронов для каждого детектора, можно учитывать изменение его чувствительности с помощью приведенного соотношения. Изменение чувствительности БЭДН, не связанное с выгоранием материала эмиттера и обусловленное изменением сопротивления изоляции [2], по-видимому, можно не учитывать по крайней мере до флюенса $1,2 \times 10^{21}$ нейтр./см² ввиду отсутствия существенных изменений сопротивления изоляции.

Результаты данных исследований подтверждают пригодность БЭДН кабельного типа с эмиттером из серебра для прецизионного контроля за энергораспределением при длительной работе в активной зоне энергонапряженного реактора.

Поступило в Редакцию 13/II 1976 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Емельянов И. Я. и др. «Атомная энергия», 1971, т. 30, вып. 3, с. 275.
2. Емельянов И. Я. и др. «Атомная энергия», 1974, т. 37, вып. 1, с. 72.
3. Емельянов И. Я. и др. В сб.: Вопросы атомной науки и техники. Серия «Реакторостроение». Вып. 4 (11). М., изд. ЦНИИатоминформ, 1974, с. 51.

УДК 621.039.51.519

О возможности локального регулирования профиля и величины энерговыделения петлевых каналов

АРИНКИН Ф. М., БАТЫРБЕКОВ Г. А.

В настоящей работе приведены результаты исследования возможности регулирования поля нейтронов и энерговыделения по высоте и диаметру экспериментального канала водо-водяного реактора с помощью

кольцевой камеры с газообразным поглотителем нейтронов ³He.

Камера 1 (поглощающий экран) — это две коаксиальные трубы из нержавеющей стали 2, сваренные