

УДК 621.039.562.24

Использование камер Грея для измерения нейтронного и радиационного компонентов энерговыделения в борсодержащем стержне

ПОЛИОНОВ В. П., ПАШКИН Ю. Г., ПРОХОРОВ Ю. А.

Известны способы определения энерговыделения в борсодержащем стержне ядерного реактора с помощью измерения скоростей реакций и калориметрическим методом, которые, в частности, были применены на критической сборке ПФ-4Ф8 [1—3], где также опробован ионизационный способ определения энерговыделения с использованием камер Грея. Ионизационный метод, в отличие от методов работ [1, 2], позволяет определить нейтронный и радиационный компоненты энерговыделения, что желательно для целей проектирования. Метод достаточно прост и дает надежные результаты с приемлемой точностью. Чувствительность его примерно в 10 раз выше калориметрического [2] и составляет $\sim 10^{-7}$ Вт/г для природного бора.

Определение энерговыделения в борсодержащем веществе основано на известном принципе Брэгга — Грея [4], устанавливающем зависимость между измеряемой ионизацией газа, заключенного в полости твердого тела, и энерговыделением в стенках твердого тела, образующего полость.

Выражение для определения энерговыделения в единице объема среды имеет вид [4]

$$Q = Wf = \frac{n_{\text{ТВ}}}{n_{\text{газ}}} \frac{\Delta U (C_{\text{К}} + C_{\text{ПР}})}{tV_{\text{К}}eN} K\eta, \quad (1)$$

где W — среднее количество энергии на образование пара ионов в газе; f — отношение тормозных способностей материала камеры и газообразной среды полости на один электрон; $n_{\text{ТВ}}$, $n_{\text{газ}}$ — число электронов в единице объема твердой среды и газа соответственно; ΔU — изменение потенциала камеры за время облучения t на мощности N ; $C_{\text{К}}$, $C_{\text{ПР}}$ — емкости камеры и измерительного прибора соответственно; $V_{\text{К}}$ — объем камеры; e — заряд электрона; η — эффективность сбора ионов в газовом зазоре камеры; K — коэффициент экстраполяции, сущность которого будет описана далее. Комплекс $\Delta U (C_{\text{ПР}} + C_{\text{К}})/t$ в дальнейшем будем называть током камеры.

Измерения проведены плоскопараллельными камерами. Газовый зазор образован торцами цилиндров из карбида бора диаметром 20 мм, которые являются составной частью борного стержня. В камерах предусмотрено устройство, позволяющее изменять и контролировать размер газового зазора.

Если поместить камеры с газовым зазором δ в поле реакторного излучения, в ней потечет ток I_{δ} :

$$I_{\delta} = I_{\alpha} + I_{\text{Li}} + I_{\text{B,C}} + I_e + I_{\text{ут}}, \quad (2)$$

где I_{α} , I_{Li} , $I_{\text{B,C}}$ — нейтронные составляющие тока, обусловленные соответственно продуктами (n, α) -реакции на ^{10}B и ядрами отдачи бора и углерода от упругого взаимодействия их с нейтронами, причем эта последняя составляющая пренебрежимо мала по сравнению с первыми;

Энерговыделение в борном стержне, измеренное различными методами

Метод	Энерговыделение, 10^{-6} Вт/г	
	Нейтронная составляющая	Полное энерговыделение
Отношение скоростей реакции [1]	$1,34 \pm 0,03$	—
Калориметрический [2]	—	$1,43 \pm 0,16$
Ионизационный	$1,30 \pm 0,09$	$1,43 \pm 0,1$

I_e — радиационная составляющая тока, измерение которой проводится отдельной камерой, изготовленной из карбида бора; газовый объем в камере экранирован тонкой алюминиевой фольгой от попадания в него продуктов (n, α) -реакции; $I_{\text{ут}}$ — ток утечки камеры, который определялся в отсутствие реакторного излучения и составлял в наших условиях не более 3%.

Составляющие токов камеры при «нулевом» газовом зазоре, при котором справедливо выражение (1), отличаются от токов камеры при конечных размерах зазора вследствие: неполного выполнения условия Брэгга — Грея [4] о незначительности доли частиц, входящих в газовую полость с остаточным пробегом, меньшим, чем размеры полости; увеличения нейтронного потока на внутренних поверхностях электродов камеры при наличии газового зазора, а также из-за краевого эффекта, который заключается в том, что часть заряженных частиц, главным образом с краев электродов, вылетает под углом к оси камеры и покидает чувствительный объем камеры, не полностью израсходовав свою энергию. При уменьшении газового зазора камеры относительное влияние этих эффектов становится слабее и при «нулевом» зазоре отсутствует. При этом ток камеры отвечает всем требованиям условий Брэгга — Грея [4].

Для определения тока камеры при «нулевом» зазоре из значений тока в диапазоне газовых зазоров от 0,07 до 0,5 мм было вычтено значение тока радиационной составляющей и тока утечки при соответствующих зазорах камеры. Затем определен параметр x в формуле (3), которая описывает ток в плоскопараллельной камере, вызванный α -частицами и ядрами лития, с учетом размера зазора камеры, выраженного в формуле в длинах пробега α -частиц:

$$I \approx \left\{ \frac{7}{11} \left[1 - \frac{x}{2} \left(1 + \ln \frac{1}{x} \right) \right] + \frac{4}{11} \left[1 - \frac{kx}{2} \left(1 + \ln \frac{1}{kx} \right) \right] \right\}, \quad (3)$$

где k — соотношение пробегов α -частиц и ядер лития. Эта формула получена для малого зазора в предположении изотропного углового распределения продуктов реакции — ядер гелия и лития. После этого определена нейтронная составляющая тока камеры при «нулевом» зазоре, которая в 1,13 раз больше составляющей тока камеры при зазоре 0,07 мм. Измеренные значения даны в таблице.

Приведенные результаты подтверждают корректность измерений и показывают возможность использования ионизационного метода для измерения компонентов энерговыделения в борсодержащих стержнях на критических сборках малой мощности с приемлемой для практики точностью. Метод достаточно прост и оперативен. Измерение мощности реактора проведено частотным методом С. А. Морозовым [5], за что авторы выражают ему благодарность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов В. А. и др. «Атомная энергия», 1972, вып. 5, с. 926.
2. Жилкин А. С. и др. Там же, 1977, т. 42, вып. 6, с. 502.
3. Могильнер А. И. и др. Там же, 1968, т. 24, вып. 1, с. 42.
4. Радиационная дозиметрия. Под ред. Дж. Хейна и Г. Браунелла. М., Изд-во иностр. лит., 1958.
5. Могильнер А. И. др. Препринт ФЭИ-98. Обнинск, 1967.

Поступило в Редакцию 17.04.78