

Исследование нейтронных характеристик активной зоны реактора ВВР-М

ПАСЕЧНИК В. М., РУДИК А. Ф., КРАСИК Ю. И., ЛОМАКИН С. С., КУЛИКОВ В. И., ШЕЛЕНИН А. В., ПАНФИЛОВ Г. Г.

УДК 621.039.519 : 621.039.55

Для выбора и проектирования системы внутривыпускного контроля и правильной ее эксплуатации необходимо знать энергетический спектр, значения абсолютной и относительной плотности потока нейтронов в различных точках реактора.

В реакторе ВВР-М измерены спектральные параметры и абсолютная плотность потока тепловых нейтронов активационными детекторами, содержащими изотопы ^{176}Lu , ^{151}Eu , ^{63}Cu , ^{197}Au и ^{59}Co . Полученные параметры поля тепловых нейтронов использовались для калибровки камер деления, с помощью которых измерялись относительные распределения плотности потока нейтронов в различных точках активной зоны реактора.

Детекторы из лютеция и европия применялись в виде сплава с алюминием с весовым содержанием 15 и 0,8% соответственно. Медные, золотые и кобальтовые детекторы — это фольги толщиной 50; 3 и 10 мкм соответственно. Диаметр детекторов 3 мм. Коэффициенты экранировки резонансных нейтронов G_r и параметр Весткотта S_0 взяты из работы [1].

Для облучения детекторов применяли тонкостенные никелевые ампулы диаметром 5 мм, в вырезах которых фиксировались сэндвичи детекторов. Измеренные на γ -сцинтилляционной установке с интегральным дискриминатором активности детекторов из лютеция, меди и европия использовались для нахождения спектральных индексов $I_{\text{Cu}}^{\text{Lu}}$, $I_{\text{Cu}}^{\text{Eu}}$ и кадмиевого отношения по меди R_{Cd} . Величина индекса $I_{\text{Cu}}^{\text{Lu}}$, характеризующая жесткость спектра нейтронов, определялась соотношением

$$I_{\text{Cu}}^{\text{Lu}} = \frac{\left(\frac{A_{\text{AsLu}}}{A_{\text{AsCu}}}\right)_x}{\left(\frac{A_{\text{AsLu}}}{A_{\text{AsCu}}}\right)_0},$$

в котором числитель и делитель есть отношения активностей насыщения детекторов из лютеция и меди, измеренные в неизвестном и калибровочном спектрах [2]. Аналогично определяли величину $I_{\text{Cu}}^{\text{Eu}}$. На основе данных по спектральному индексу $I_{\text{Cu}}^{\text{Lu}}$ и кадмиевому отношению определяли температуру нейтронов T_n из соотношений Весткотта [3, 4].

На рис. 1—4 представлены данные, полученные в сухих экспериментальных каналах и твэлах активной зоны реактора с помощью детек-

торов и камер деления. Чувствительность камеры деления на тепловых нейтронах составила $2 \cdot 10^{-17} \frac{a}{\text{нейтр/см}^2 \cdot \text{сек}}$.

Распределение кадмиевого отношения по меди (см. рис. 2) показывает, что соотношение между тепловыми и резонансными нейтронами по каналу в его средней части постоянно. Относительное распределение величины R_{Cd} по твэлу также постоянно и сохраняет свой характер при значительном выгорании топлива.

В табл. 1 приведены значения $I_{\text{Cu}}^{\text{Lu}}$, R_{Cd} и T_n для средней части твэлов с различным выгоранием топлива. Как видно из табл. 1, спектральные характеристики зависят от степени выгорания топлива, особенно R_{Cd} .

Абсолютные плотности потока тепловых нейтронов измеряли в каналах реактора с помощью золотых и кобальтовых фольг. Условную плотность потока нейтронов определяли из выражения

$$nv_0 = \frac{KNs}{gG_{th} + rSG_r},$$

где K — коэффициент, характеризующий детектор и эффективность счетной установки; Ns — удельная активность насыщения, $\text{имп/сек} \cdot \text{г}$.

Плотность потока тепловых нейтронов со средней скоростью \bar{v} : $\bar{nv} = 1,128 \sqrt{\frac{T_n}{T_0}} nv_0 \frac{R-1}{R}$, где R — кадмиевое отношение для $1/v$ -детектора.

В табл. 2 показаны результаты измерений абсолютной плотности потока нейтронов золотыми и кобальтовыми фольгами на разной мощности реактора.

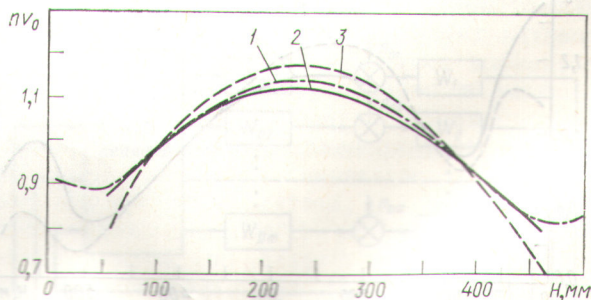


Рис. 1. Относительные распределения плотности потока тепловых нейтронов по высоте сухого экспериментального канала nv_0 , измеренные медными фольгами (1), камерами деления на тепловых (2) и быстрых нейтронах (3).

Спектральные характеристики поля нейтронов в твэлах различного выгорания Таблица 1

Выгорание, отн. ед. *	R_{Cd}	I_{Cu}^{Lu}	T_n [°K]
1,0	$7,15 \pm 0,14$	$0,96 \pm 0,01$	345 ± 10
0,5	$9,28 \pm 0,18$	$0,94 \pm 0,01$	332 ± 10

* 1,0 — «свежее» топливо; 0,5 — топливо с 50%-ным выгоранием по ^{235}U .

Значения nv_0 в сухом экспериментальном канале реактора Таблица 2

Мощность реактора, кет	$nv_0 \times 10^{12}$, нейтр/см ² ·сек	
	по золоту	по кобальту
300	$2,22 \pm 0,11$	$2,20 \pm 0,11$
500	$3,62 \pm 0,18$	$3,37 \pm 0,17$
900	$7,10 \pm 0,36$	$6,84 \pm 0,34$

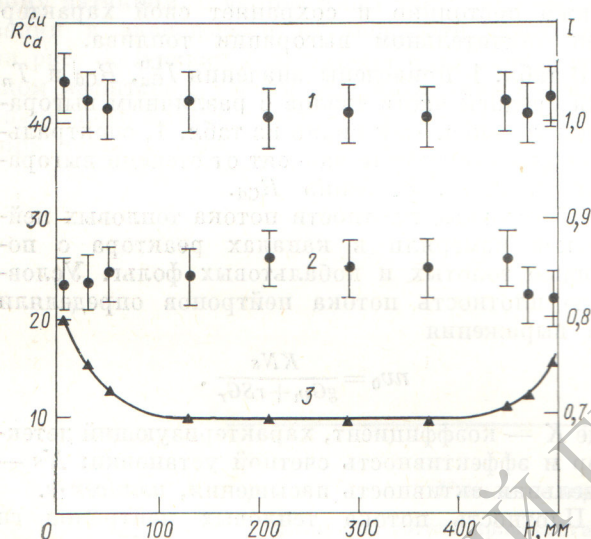


Рис. 2. Распределение спектральных характеристик I_{Cu}^{Eu} (1) и I_{Cu}^{Lu} (2) и кадмиевого отношения по меди R_{Cd} (3) по высоте канала.

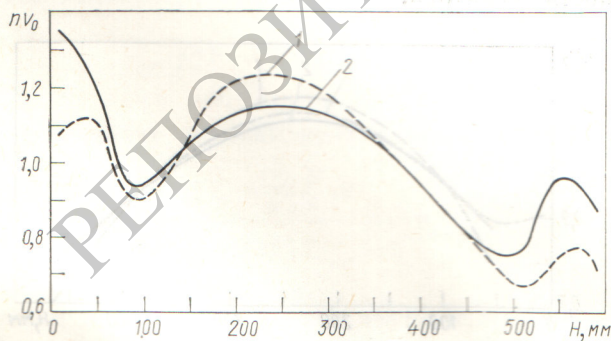


Рис. 3. Относительное распределение плотности потока тепловых нейтронов по высоте твэла nv_0 , измеренное медными фольгами на выгоревшем (1) и «свежем» (2) твэлах.

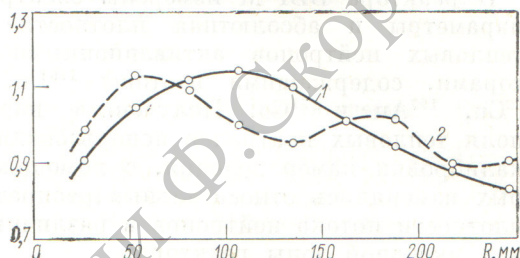


Рис. 4. Относительные распределения плотности потока тепловых нейтронов по радиусу активной зоны nv_0 , измеренные камерой деления для старой (1) и новой (2) активных зон.

Ошибка измерения спектральных индексов и кадмиевого отношения составляет не более 1 и 2% соответственно. В ошибку определения T_n входят погрешности I_{Cu}^{Lu} , R_{Cd} и коэффициентов самоэкранирования тепловых и резонансных нейтронов и характеристик калибровочного спектра. Суммарная погрешность измерения температуры нейтронов составляет около 3%. Ошибка определения абсолютной плотности потока тепловых нейтронов не более 5%.

Во время измерений циркуляция воды через зону не прекращалась. Температура в активной зоне поддерживалась равной $20 \pm 1^\circ C$. В результате измерений нейтронных полей активной зоны реактора выбрана компоновка зоны, позволившая увеличить абсолютные потоки нейтронов на горизонтальных пучках примерно на 10% при неизменной мощности аппарата (рис. 4). Новая компоновка выполнена кольцевыми зонами из твэлов с различным выгоранием.

Поступила в Редакцию 23/X 1972 г.
В окончательной редакции 24/V 1973 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zijp W. Report RCN-37, 1965.
2. Ломакин С. С. и др. «Труды СНИИП». М., Атомиздат, 1970, вып. XII, с. 230.
3. Westcott C. AECL-1101, 1960.
4. Westcott C. II Женевская конференция, 1958. Доклад № 202.