

УДК 621.039.51

Применение термонейтронных датчиков для измерения распределений плотности потока тепловых нейтронов

САФИН Ю. А., КАРПЕЧКО С. Г., АФАНАСЬЕВ П. Г., НАЛИВАЕВ В. И., ПАМПУРА В. Б., УВАРОВ В. И.

В настоящее время контролю энерговыделения в активных зонах ядерных реакторов различного назначения уделяется значительное внимание [1]. Точное и надежное измерение полей нейтронов в активных зонах требует постоянного усовершенствования старых и разработки новых экспериментальных методов. Однако проведение внутриреакторных измерений всегда связано с определенными трудностями, обусловленными тяжелыми радиационными и температурными условиями работы детекторов и т. п. В последние годы большое развитие получили приборные методы измерений полей нейтронов, где в качестве первичных датчиков предусматривается использование малогабаритных камер деления, электронно-эмиссионных датчиков нейтронов (ЭДН), датчиков прямой зарядки (ДПЗ), термонейтронных датчиков и др. [2—5].

В настоящей работе исследована возможность применения специально разработанных термонейтронных датчиков для оперативного измерения распределения плотности потока тепловых нейтронов по высоте и радиусу активной зоны исследовательского ядерного реактора ИВВ-2 [6]. Для этой цели был сконструирован и изготовлен измерительный зонд ТНД-А, состоящий из двух малогабаритных термонейтронных датчиков: высоко-(ВЧ) и низкочувствительного (НЧ) [$\sim 3 \cdot 10^{-15}$ и $\sim 3 \times 10^{-16}$ нейтр./см²·с соответственно], размещенных в алюминиевом корпусе диаметром 54 мм (диаметр рабочей части зонда 18 мм). В верхней части корпуса есть приспособление для перемещения зонда по высоте активной зоны с шагом 50 мм. Конструкция термонейтронных датчиков аналогична конструкциям, описанным в работах [4, 5]. В качестве линии связи в датчике использован высокотемпературный кабель типа КТМС с двумя алюминиевыми термоэлектродами. Сигнал измеряется потенциометром ПП-63 с записью на потенциометре ЭПП-09 М3.

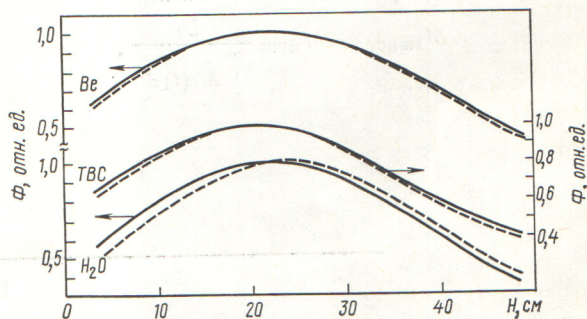
Зонд ТНД-А устанавливали в одну из ячеек активной зоны и фиксировали в нижнем положении, затем проводили измерение. После этого зонд приподнимали на 50 мм, фиксировали в этом положении и вновь измеряли сигнал. Последовательно проводили измерения по высоте данной ячейки, затем зонд перемещали в следующую ячейку. Все измерения были выполнены при мощности реактора 200 кВт, температура воды 35 ± 5 °С. Мощность реактора и положение органов регулирования (автоматического регулятора и компенсирующих стержней) во время измерений поддерживались постоянными. Распределение плотности потока тепловых нейтронов было измерено в 24 ячейках активной зоны: 6 водяных «ловушках», 9 тепловыделяющих сборках (ТВС) и 9 бериллиевых блоках. Аналогичные измерения были повторены с помощью активационного метода. Индикатором служила медная проволока диаметром 0,9 мм. Проволоку закрепляли на специальных державках из органического стекла. Облучение проводили при мощности реактора 10 кВт в течение 10 мин. Счетная установка состояла из пластического сцинтиллятора типа БГ, фотоумножителя ФЭУ-19М, усилителя, блока питания и пересчетного прибора ПСТ-100.

Положение органов регулирования реактора во время измерений распределений активационным методом поддерживалось таким же, как и при измерениях распределений зондом ТНД-А. Результаты измерений представлены в таблице и на рисунке.

Показания сигналов ВЧ- и НЧ-датчиков в некоторых характерных ячейках активной зоны, мВ

Расстояние от торца зонда до дна активной зоны, см	ТВС		Водяная ловушка		Бериллиевый блок	
	ВЧ	НЧ	ВЧ	НЧ	ВЧ	НЧ
0	4,79	0,55	8,98	1,10	6,13	0,72
5	5,29	0,62	11,90	1,45	6,85	0,80
10	5,94	0,69	14,0	1,72	7,94	0,95
15	6,42	0,72	15,26	1,90	8,80	1,05
20	6,15	0,72	15,45	1,92	8,85	1,07
25	5,56	0,66	14,10	1,74	8,66	1,05
30	4,98	0,58	12,30	1,48	7,83	0,94
35	4,13	0,50	10,14	1,22	6,69	0,80
40	3,19	0,42	7,85	0,94	5,35	0,66
45	2,68	0,34	5,09	0,65	4,15	0,53
50	2,62	0,34	3,37	0,44	3,52	0,48

Из таблицы видно, что сигнал от ВЧ-датчика почти на порядок превышает сигнал от НЧ-датчика, при этом относительные распределения плотности потока тепловых нейтронов, полученные этими датчиками, во всех ячейках активной зоны совпадают с хорошей точностью, что позволяет сделать вывод о возможности использования НЧ-датчика для контроля плотности потоков тепловых нейтронов $\sim 10^{14}$ нейтр./(см²·с). Относитель-



Относительное распределение плотности потока тепловых нейтронов, измеренное зондом ТНД-А и по активности медной проволоки (— —) при различном расстоянии H от дна канала

ные распределения активности медной проволоки и показаний зонда ТНД-А с термонейтронными датчиками в бериллиевом блоке и ТВС имеют одинаковый характер и совпадают в пределах погрешностей измерений. В водяной ловушке результаты несколько отличаются. Это отличие можно объяснить разной спектральной чувствительностью медного индикатора и термонейтронного датчика, а также недостаточной центровкой зонда в водяной ловушке (коэффициент неравномерности распределения плотности потока тепловых нейтронов по радиусу водяной ловушки $\sim 1,2$). Аналогичный эффект наблюдался и в работе [7].

Полученные результаты позволяют рекомендовать зонд с термонейтронными датчиками для оперативного внутриреакторного контроля распределения плотности потока тепловых нейтронов в диапазоне от $5 \cdot 10^{10}$ до $\sim 10^{14}$ нейтр./(см²·с).

Поступило в Редакцию 6.III.78

УДК 621.039.517.5

Двумерное профилирование топливных сборок высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов

СЕГАЛЬ М. Д., ХРИПУНОВ В. И.

В настоящее время большое значение для энергетики и получения высокопотенциального тепла начинают приобретать высокотемпературные ядерные реакторы, охлаждаемые газовым теплоносителем (ВТГР) [1]. Такие реакторы характеризуются относительно высокой теплонапряженностью в сочетании с длительным ресурсом и жесткими требованиями к предельной температуре топлива. В связи с этим весьма важным представляется выравнивание температурных полей твэлов и рабочего тела, что особенно существенно для реакторов кластерного типа.

В топливных сборках таких реакторов, состоящих из большого числа стержневых твэлов, возможно возникновение пространственной неравномерности поля тепловыделения вследствие блок-эффекта, возмущений, внешних органами регулирования, и т. п. Неравномерность приводит к возникновению локальных перегревов рабочего тела и топлива и, следовательно, к снижению параметров топливной сборки. Перспективным для повышения выходных параметров таких сборок является двумерное профилирование поля энерговыделения концентрацией топлива. Естественно, что речь идет только о зонном профилировании, поскольку индивидуальный подбор концентраций топлива для каждого твэла является, по-видимому, нетехнологичным (в реакторе фирмы «Галф дженерал атомик» (США) используются сборки, включающие 270 твэлов). Методы физического профилирования, рассмотренные в работе [2], нашли дальнейшее развитие и экспериментальное обоснование в работах [3–5]. Была выявлена возможность весьма сильного воздействия изменения концентрации и соотношения объемов топлива и замедлителя на распределение источников энерговыделения в разных системах. Во многих случаях условие сохранения постоянной температуры поверхности или центра твэла сводится к выравниванию плотности энерговыделения по объему.

Решение задач об оптимизации этих параметров по реактору в целом базируется на некоторых упрощаю-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Емельянов И. Я. и др. Управление и безопасность ядерных энергетических реакторов. М., Атомиздат, 1975.
2. Дмитриев А. Б., Малышев Е. К. Нейтронные пони-зационные камеры для реакторной техники. М., Атомиздат, 1975.
3. Климентов В. Б., Колчинский Г. А., Фрунзе В. В. Активационные измерения потоков нейтронов и спектров нейтронов в ядерных реакторах. М., «Стандарты», 1974.
4. Емельянов И. Я. и др. «Атомная энергия», 1971, т. 30, вып. 3, с. 275.
5. Боланд Дж. Приборы контроля ядерных реакторов. М., Атомиздат, 1973.
6. Зырянов А. П. и др. В кн.: Радиационная безопасность и защита АЭС. Вып. 2. М., Атомиздат, 1976, с. 110.
7. Ломакин С. С. и др. [4], с. 301.

щих предложениях (одномерная геометрия, малогрупповой подход и т. п.). Вместе с тем при профилировании топливной сборки необходимо учитывать процессы перемешивания рабочего тела, а также локальные особенности энергораспределения. Подход, описываемый в данной работе, основан на совместном использовании многомерного нейтронно-физического расчета методом Монте-Карло [6] и теплогидравлического расчета [7], что позволило достаточно эффективно выравнивать температурное поле твэлов и газа-теплоносителя. Температурные поля рассчитывались в трехмерной геометрии для гомогенизированной тепловыделяющей среды по программе, приведенной в работе [8], на ЭВМ БЭСМ-6.

Для фиксации пространственного энергораспределения в неоднородной среде в рамках метода Монте-Карло была предложена локальная оценка потока в протяженных (нитевидных) математических детекторах. При каждом соударении нейтрона в объеме системы вклад в энерговыделение пропорционален интегралу

$$q \sim (1/A) \int_0^X \exp(-\sqrt{x^2 + A^2}) / \sqrt{x^2 + A^2} dx, \quad (1)$$

где q — вклад в энерговыделение от рассеяния нейтрона в точке; A — оптическое расстояние детектора до точки рассеяния нейтрона; X — оптическая длина детектора. Некоторые свойства этой оценки (однопараметрическая зависимость от A , обусловленная быстрой сходимостью по верхнему пределу) позволяют в коррелированном расчете для большого числа детекторов снизить погрешность локальной оценки энерговыделения в r , φ -геометрии до 3–5%. Соотношение концентрации топлива в зонах профилирования выбиралось исходя из равенства средних значений энерговыделения в каж-