

УДК 621.039.58

ВЛИЯНИЕ ДЕПРЕССИИ ПОТОКА НЕЙТРОНОВ В ЯЧЕЙКЕ РБМК НА ВЕЛИЧИНУ МАКСИМАЛЬНОЙ И СРЕДНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОПЛИВА

А.О. Гольцев, Г.Б. Давыдова, В.Д. Давиденко

Российский научный центр «Курчатовский институт», г. Москва

E-mail: shasha@dcnr.vver.kiae.ru

Выполнена расчётная оценка влияния азимутальной неравномерности поля энерговыделения в таблетке твэла РБМК на величину максимальной и средней температуры топлива. Показано, что неучёт этого фактора приводит к систематическому занижению расчётного значения максимальной температуры топлива на несколько десятков градусов.

Ключевые слова:

Тепловыделяющий элемент (твэл), реактор РБМК, температура ядерного топлива, азимутальная неравномерность поля энерговыделения.

При эксплуатации энергетического ядерного реактора одной из основных характеристик, определяющей его безаварийную работу, является величина максимальной температуры топлива. Обычно при расчётах этой величины предполагается, что поле энерговыделения в твэле ровное [1], иногда, правда, учитывается радиальная неравномерность энерговыделения [2], обусловленная поглощением нейтронов в твэле, но даже в этом случае предполагается его осевая симметричность.

В гетерогенном тепловом ядерном реакторе с кластерной структурой активной зоны, каким является реактор РБМК, это предположение не выполняется. Обратимся к рис. 1, на котором схематично показано распределение потока тепловых нейтронов в ячейке реактора РБМК, которые вызывают 80...90 % делений в топливе.

Спад потока тепловых нейтронов по радиусу топливной сборки, обусловленный поглощением тепловых нейтронов в топливе, говорит о том, что в твэлах должна наблюдаться азимутальная неравномерность распределения потока нейтронов, а, значит, и азимутальная неравномерность поля энерговыделения в твэле. В расчётах рассматривалось топливо с обогащением 2,6 % по ^{235}U с содержанием выгорающего поглотителя $\text{Eg} - 0,41$ %. На рис. 2 показан результат расчёта по программе MCNP-4A [3] распределения потока тепловых нейтронов по диа-

метру твэлов внешнего и внутреннего ряда тепловыделяющей сборки РБМК со свежим топливом. Схематично такой перекош, принимаемый в дальнейших расчётах, показан на рис. 3. Принималось, что радиальная неравномерность энерговыделения, обусловленная депрессией потока нейтронов в твэле, отсутствует, т. е. поле энерговыделения – плоское.

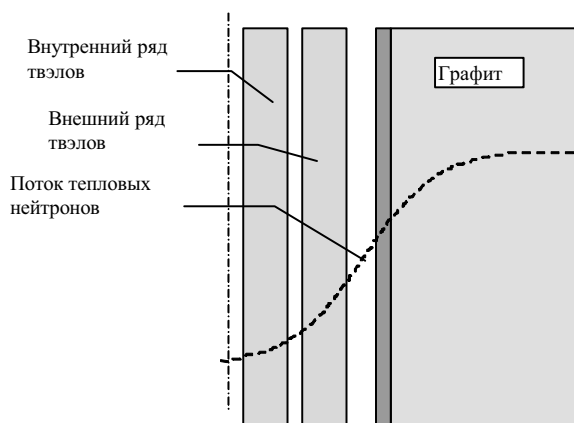


Рис. 1. Распределение потока тепловых нейтронов в ячейке реактора РБМК

Из общих соображений понятно, что при азимутальной неравномерности, подобной изображённой на рис. 3, положение максимума температуры топлива должно сместиться от центра таблет-

ки в сторону максимума энерговыделения. При этом, скорее всего, должно измениться и само значение максимальной температуры топлива.

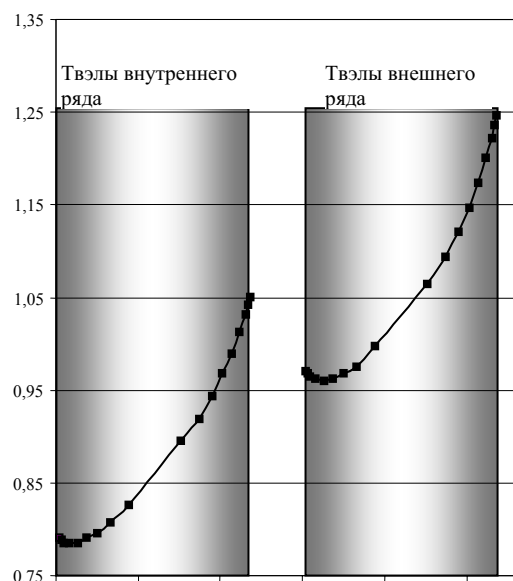


Рис. 2. Распределение потока тепловых нейтронов (отн. ед.) по диаметру твэлов внешнего и внутреннего ряда

В данной работе на примере решения модельной задачи было исследовано, насколько будет изменяться максимальная и среднеобъёмная температура топлива в зависимости от величины перекоса ΔQ и удельного энерговыделения q_v (или линейной нагрузки — q_l).

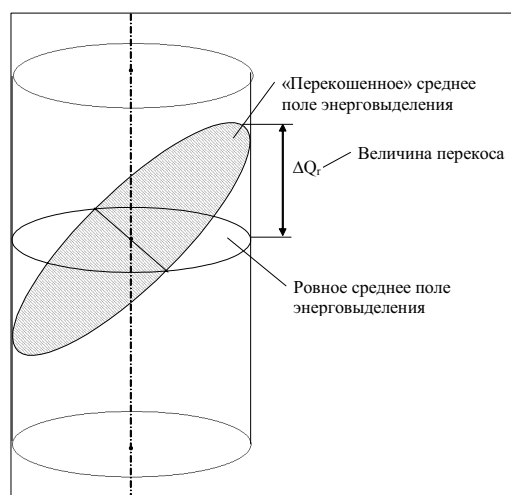


Рис. 3. Схематичный вид азимутальной неравномерности поля энерговыделения в твэле РБМК

Выполненные расчёты по программе MCNP-4A показали, что величина перекоса ΔQ зависит от степени выгорания топлива, плотности теплоносителя, температуры графита и т. п. В среднем, если оценивать эту величину как отношение максимального энерговыделения (на стороне таблетки твэла, обращенной к замедлителю) к среднему энерговыделению в %, то, как показывают расчёты, значение ΔQ варьируется в пределах 20...40 %.

Расчет поля температур в твэле РБМК проводился по программе RFI-2, которая численным методом решает стационарное (либо нестационарное) уравнение теплопроводности в $(r-\varphi)$ -геометрии. Данная программа используется в РНЦ «Курчатовский институт» для расчётного обоснования температурных режимов стержней СУЗ реактора РБМК.

Расчёты проводились для твэла со стандартными размерами. Основные исходные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики стандартного твэла РБМК

Параметр	Значение	Примечание
Диаметр центрального отверстия в таблетке, см	0,2	—
Диаметр таблетки, см	1,15	Степень черноты — 0,7
Толщина зазора, см	0,015	В зазоре гелий
Толщина оболочки, мм	0,9	Таблетка оболочки не касается. Степень черноты — 0,5
Температура воды, К	557	—
Коэффициент теплоотдачи, Вт/(см ² ·К)	5	—

В качестве исходного бралось ровное поле энерговыделения по радиусу таблетки. «Перекошенное» поле также было плоским, рис. 3. В расчётах варьировалась линейная нагрузка q_l (удельное энерговыделение в таблетке q_v) и коэффициент перекоса поля энерговыделения ΔQ_r .

Результаты приведены на рис. 4, а также в табл. 2 и 3.

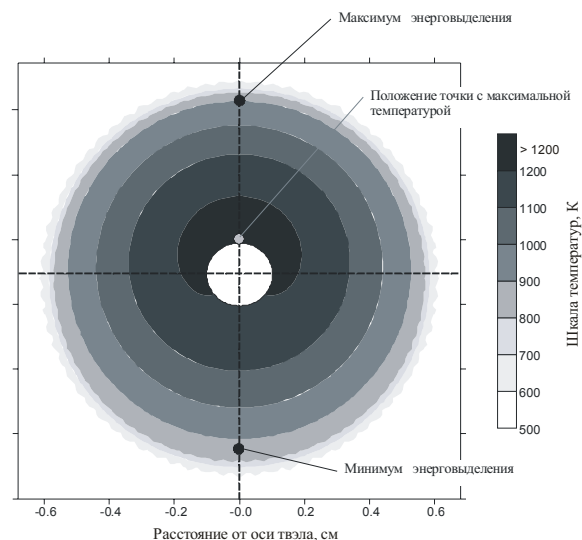


Рис. 4. Поле температур в цилиндрическом твэле с «перекошенным» полем энерговыделения ($q_l=159$ Вт/см, коэффициент перекоса 40 %)

Выводы

Расчеты полей температур в твэле с «перекошенным» полем энерговыделения показали, что неучёт факта перекоса приводит к занижению расчётного значения максимальной температуры топлива на несколько десятков градусов, что должно

Таблица 2. Изменение максимальной температуры топлива в зависимости от среднего удельного энерговыделения и коэффициента перекося

q_l , Вт/см	Ровное поле	«Перекошенное поле» с коэффициентом перекося, %					
		30		40		50	
	$T_{\max}$, К	$T_{\max}$, К	ΔT	$T_{\max}$, К	ΔT	$T_{\max}$, К	ΔT
159	1334,8	1363,8	29,0	1373,4	38,6	1382,9	48,1
250	1765,3	1808,0	42,7	1822,0	56,7	1835,9	70,6
350	2191,1	2242,9	51,8	2259,6	68,5	2276,0	84,9
450	2535,7	2588,3	52,6	2605,1	69,4	2621,6	85,9

Таблица 3. Изменение среднеобъёмной температуры топлива в зависимости от среднего удельного энерговыделения и коэффициента перекося

q_l , Вт/см	Ровное поле	«Перекошенное поле» с коэффициентом перекося, %					
		30		40		50	
	$T_{\text{ср}}$, К	$T_{\text{ср}}$, К	ΔT	$T_{\text{ср}}$, К	ΔT	$T_{\text{ср}}$, К	ΔT
159	1082,8	1071,9	-10,9	1068,2	-14,6	1064,5	-18,3
250	1369,4	1353,0	-16,4	1347,3	-22,1	1341,6	-27,8
350	1659,6	1638,1	-21,5	1630,7	-28,9	1623,2	-36,4
450	1909,4	1885,0	-24,4	1876,5	-32,9	1867,8	-41,6

учитываться при обосновании безопасной эксплуатации реакторов РБМК в условиях продления ресурса их эксплуатации.

Систематическое завышение значения среднеобъёмной температуры топлива при расчётах с

ровным профилем энерговыделения в твэле будет приводить к ошибкам при расчете нестационарных процессов по программам комплексного расчёта реактора с обратными связями, как это было показано нами в работах [4, 5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 360 с.
2. Глушков Е.С., Дёмин В.Е., Пономарёв-Степной Н.Н., Хрулёв А.А. Тепловыделение в ядерном реакторе. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 160 с.
3. Briesmeister J.F. MCNP – A General Monte Carlo Code for N-Particle Transport, Version 4A // LA-12624, Ed., Los Alamos National Laboratory, 1993.
4. Goltsev A.O., Davidenko V.D., Tsibulsky V.F., Lekontsev A.A. Computational Problems in the Calculation of Temperature Effects for Heterogeneous Nuclear Reactor Unit Cells // Annals of Nuclear Energy. – 2000. – V. 27. – № 2. – P. 175–183.
5. Goltsev A.O., Davidenko V.D., Tsibulsky V.F., Lekontsev A.A. The influence of a non-uniform radial temperature distribution in the fuel on the results of calculation of transients // Annals of Nuclear Energy. – 2003. – V. 30. – № 11. – P. 1135–1153.

Поступила 23.03.2009 г.

УДК 669.536.422

ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ТЕПЛОЙ ТРУБЫ В УСЛОВИЯХ ЧАСТИЧНОГО ОСУШЕНИЯ КАПИЛЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ

Г.В. Кузнецов, А.А. Матвеева

Томский политехнический университет

E-mail: nasa@tpu.ru

Решена задача определения температурного поля в поперечном сечении тепловой трубы при работе ее в аварийном режиме. Установлено, что осушение половины поверхности капиллярной структуры тепловой трубы приводит к заметному росту температуры во всех характерных точках. Это изменение невелико и не приводит к неприемлемым значениям температур. Показано, что в аварийных режимах работы тепловая труба обладает свойством саморегулируемости.

Ключевые слова:

Математическое моделирование, тепловая труба, температурное поле, тепломассоперенос, аварийный режим.

Введение

Благодаря ряду уникальных свойств, тепловые трубы (ТТ) могут обеспечить эффективный отвод тепла от труднодоступных теплонапряженных элементов, уменьшить неравномерность температурного поля по конструкции аппаратуры, избежав применения более сложных и дорогостоящих способов отвода энергии, значительно сократить раз-

меры и массу систем охлаждения, улучшить их эксплуатационные характеристики [1].

Однако внедрение систем обеспечения теплового режима на базе ТТ как в радиоэлектронике, так и в космическом приборостроении осложнено в основном проблемами технической и технологической реализации таких систем [1–3]. Одной из основных проблем является работа ТТ в аварийном режиме.