

ны деления и ДПЗ имеют одинаковый характер и в центральной части канала совпадают в пределах ошибок измерений. Расхождение результатов наиболее существенно в нижней и верхней частях активной зоны. Частично оно обусловлено разным вкладом тепловых и резонансных нейтронов в активность меди и родия.

Соотношение между тепловыми и резонансными нейтронами в активной зоне также постоянно, кроме областей, граничащих с отражателем, где наблюдается уменьшение величины $r \sqrt{\frac{T}{T_0}}$ (см. рис. 1 и 2). Для сравнения на рис. 1 приведено относительное распределение nv_0 , полученное по активности золотых фольг с учетом изменения параметра $r \sqrt{T/T_0}$ по высоте канала.

Как видно из рис. 2, величина A и температура нейтронов T линейно возрастают от низа к верху активной зоны. Это возрастание, связанное в опреде-

ленной мере с повышением температуры теплоносителя, свидетельствует об ужесточении спектра тепловых нейтронов в верхней части активной зоны реактора.

Подобные исследования характеристик поля нейтронов в реакторе позволили откалибровать измерительные каналы и дали возможность связать измеренные относительные величины потока нейтронов с его абсолютными значениями.

Поступило в Редакцию 20/II 1970 г.
В окончательной редакции 25/VI 1970 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. C. Westcott. AECL-1101, 1960.
2. C. Westcott et al. Proc. of the Second Intern. Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy. Unit. Nat. Vol. 16, Geneva, 1958, p. 70.

Профилирование гетерогенного реактора с небольшим числом ТВЭЛОВ

Н. Н. ПОНОМАРЕВ-СТЕПНОЙ, А. М. КРУТОВ, В. И. НОСОВ

УДК 621.039.512.45

При проектировании энергетических реакторов одной из важных задач является выравнивание поля энерговыделения в активной зоне. Особое значение эта задача приобретает для реакторов с небольшим числом ТВЭЛОВ вследствие сильной зависимости распределения энерговыделения от расположения отдельных ТВЭЛОВ по активной зоне, размещения органов регулирования и других факторов. При изучении профилирования энерговыделения в реакторах с небольшим числом ТВЭЛОВ эти факторы могут быть учтены на основе прямых гетерогенных расчетов [1, 2]. При теоретическом рассмотрении этой задачи делаются определенные предпосылки и допущения, поэтому возникает необходимость в экспериментальной проверке развитой гетерогенной методики расчета.

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований распределения энерговыделения, которые сравниваются с результатами расчета по гетерогенной методике [1, 2].

Все исследования проводились на цилиндрической критической сборке с водой в качестве замедлителя. Активная зона набиралась из центрального и периферийных ТВЭЛОВ, которые располагались симметрично по трем окружностям (рис. 1). Набор дистанционирующих плит позволял варьировать радиусы расположения ТВЭЛОВ (R_1, R_2, R_3). Все измерения проводились с одинаковыми ТВЭЛАМИ из высокообогащенного урана (~90%). Активная зона была окружена боковым отражателем из бериллия, который отделялся от нее тонкой стальной оболочкой. В боковом отражателе были предусмотрены отверстия для регулирующих стержней. Радиус реактора $R_p \approx 1,7 R_{a.z.}$, эквивалентная высота активной зоны $H_{a.z.}^{экр} \approx 2R_p$, диаметр ТВЭЛА с оболочкой $d = 0,19 R_{a.z.}$

Экспериментальное исследование распределения энерговыделения проводилось с помощью урановых детекторов, а также методом гамма-сканирования центральной части облученных ТВЭЛОВ. Среднеквадратичная ошибка, которая складывается в основном из статического разброса в измерениях, погрешностей

в фиксации времени, неопределенности в расположении детекторов и неустойчивости работы аппаратуры, составляет ~5%.

Первоначально была изучена серия гетерогенных критическихборок, у которых варьировались радиусы расположения ТВЭЛОВ. Эти эксперименты позволили установить зависимости в распределении энерговыделения по радиусу реактора, а также уточнить расчетные и экспериментальные методики.

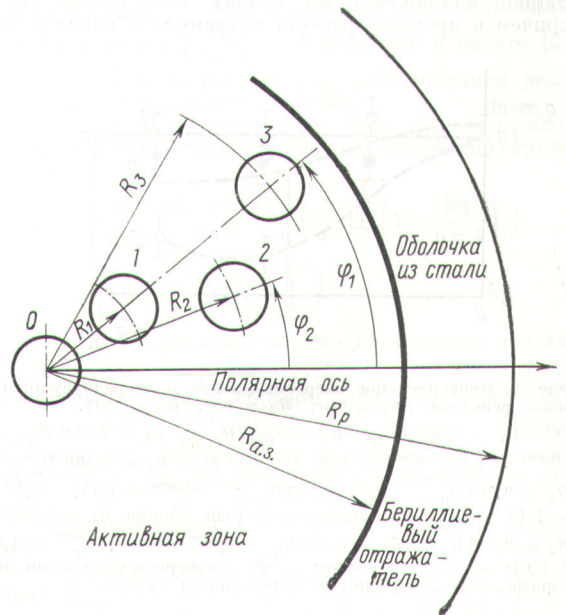


Рис. 1. Схема реактора с кольцевым расположением ТВЭЛОВ (0, 1, 2, 3 — номера ТВЭЛОВ; 0 — центральный ТВЭЛ).

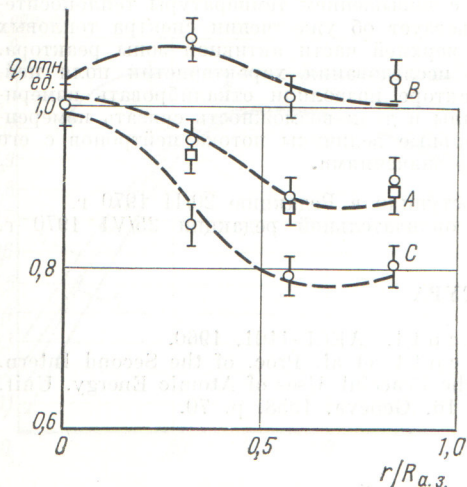


Рис. 2. Относительное распределение энерговыделения q по радиусу активной зоны реактора ($R_1 = \text{var}$; $R_2 = 0,577R_{a.z.}$; $R_3 = 0,838R_{a.z.}$).

A — $R_1 = 0,308R_{a.z.}$, $k_r^{\text{расч}} = 1,11$; $k_r^{\text{экс}} = 1,08 \pm 0,05$;
 B — $R_1 = 0,292R_{a.z.}$, $k_r^{\text{расч}} = 1,05$; $k_r^{\text{экс}} = 1,03 \pm 0,04$;
 C — $R_1 = 0,323R_{a.z.}$, $k_r^{\text{расч}} = 1,21$; $k_r^{\text{экс}} = 1,24 \pm 0,05$;
 — — — расчет; ○ — измерено урановыми детекторами;
 □ — получено по γ -активности твэлов.

На втором этапе исследований проводились измерения на критической сборке, значения которой R_1 , R_2 и R_3 были получены расчетным путем, исходя из условия полного выравнивания энерговыделения по сечению реактора (профилированная сборка) [2]. Оптимальное расположение твэлов в профилированной сборке находилось по методу скорейшего спуска, причем в процессе расчета сохранялась периодичность

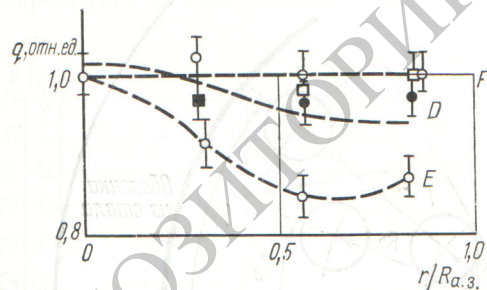


Рис. 3. Относительное энерговыделение q по радиусу активной зоны реактора ($R_1 = \text{var}$; $R_2 = \text{var}$; $R_3 = \text{var}$).

D — $R_1 = 0,300R_{a.z.}$, $R_2 = 0,569R_{a.z.}$, $R_3 = 0,838R_{a.z.}$,
 $k_r^{\text{расч}} = 1,07$, $k_r^{\text{экс}} = 1,03 \pm 0,04$; E — $R_1 = 0,308R_{a.z.}$;
 $R_2 = 0,561R_{a.z.}$, $R_3 = 0,823R_{a.z.}$; $k_r^{\text{расч}} = 1,14$, $k_r^{\text{экс}} = 1,13 \pm 0,05$; F — профилированная сборка $R_1 = 0,290R_{a.z.}$,
 $R_2 = 0,561R_{a.z.}$, $R_3 = 0,841R_{a.z.}$, $k_r^{\text{расч}} = 1,00$, $k_r^{\text{экс}} = 1,02 \pm 0,04$;
 — — — расчет; ○, ● — измерено урановыми детекторами, □ — получено по γ -активности твэлов.

в расположении твэлов по углу. Расчет проводился в четырехгрупповом диффузионном приближении; групповые константы были взяты из работы [3]. Альбедная матрица в эффективных граничных условиях на поверхности твэлов [4] принималась одинаковой для всех твэлов.

На рис. 2, 3 приведены расчетные и экспериментальные значения энерговыделения твэлов q ($R_i/R_{a.z.}$) для шести сборок, отличающихся радиусами расположения твэлов. Для наглядности результаты расчета на графиках соединены пунктирными линиями. Величины энерговыделения на графиках нанесены таким образом, чтобы сумма квадратов отклонений экспериментальных величин от расчетных значений была минимальной.

Из графиков видно, что результаты теоретического рассмотрения вполне удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными в пределах ошибок измерения. Например, для одной из сборок расчетная величина коэффициента неравномерности $k_r = q_{\text{max}}/\bar{q}$ составляет 1,21, а определенная экспериментально равна $1,24 \pm 0,05$. Экспериментальное исследование сборки, для которой расположение твэлов было рассчитано из условия полного выравнивания энерговыделения, подтвердило теоретическое предсказание $k_r^{\text{экс}} = 1,02 \pm 0,04$ ($k_r^{\text{расч}} \approx 1,00$).

Для исследуемых систем характерной особенностью является то, что средняя длина свободного пробега нейтронов в замедлителе сравнима с расстоянием между твэлами, поэтому использование диффузионного приближения в замедлителе между блоками при расчете подобных реакторов не является вполне очевидным.

Однако, как следует из проведенного сравнения, поле энерговыделения по радиусу реактора и величины коэффициентов неравномерности k_r , полученные расчетным путем по данной методике, согласуются с результатами измерений в пределах экспериментальной ошибки (~ 5%), что является вполне приемлемым в ряде случаев.

Таким образом, при инженерных проработках реакторов с небольшим числом твэлов может оказаться полезным использование развитой гетерогенной методики.

В заключение авторы выражают благодарность В. Г. Косовскому и Е. С. Глушкову за помощь в проведении данного исследования, а также С. Н. Баркову за расчет эффективных альбедных матриц.

Поступило в Редакцию 17/II 1970 г.
 В окончательной редакции 28/VII 1970 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Носов. «Атомная энергия», 23, 25 (1967).
2. Н. Н. Пономарев-Степной и др. «Атомная энергия», 28, 58 (1970).
3. Reactor Physics constants, ANL-5800. USA, 1963.
4. С. Н. Барков. «Атомная энергия», 27, 335 (1969).