

В случае выноса пузырей водорода в газовый объем, что возможно при наличии сильных источников, оба метода контроля могут дополнять друг друга.

(№ 344/5220. Статья поступила в Редакцию 13/1 1969 г., аннотация — 26/V 1969 г. Полный текст 0,2 а. л., 1 рис., 6 библиографических ссылок.)

## Некоторые источники систематических ошибок при измерениях кадмиевого отношения в $U^{238}$

А. В. БУШУЕВ, Л. Н. ЮРОВА

В работе изучались возможные источники систематических погрешностей при измерениях резонансного захвата в  $U^{238}$  с помощью кадмиевого экрана. Сопоставлены результаты, полученные с помощью различных методик, сделано заключение о применимости этих методик.

Использовались фольги из сплава обедненного (в 230 раз по  $U^{235}$ ) урана с алюминием. Облучение образца проводилось в потоке  $\sim 10^5$  нейтр/см<sup>2</sup>·сек. С помощью сцинтилляционного спектрометра регистрировалось  $\gamma$ -излучение  $U^{239}$ . Были рассмотрены следующие источники ошибок.

**Щелевой эффект.** Если урановую фольгу, помещенную в твэл, окружить кадмиевым экраном, резонансные нейтроны по кадмию, как по щели, проникнут вглубь и вызовут дополнительную активацию фольги. Измерения показали, что с увеличением толщины кадмия от 300 до 1200 мкм, активность фольги возрастает линейно. Были исследованы относительные распределения реакции захвата по диаметру образца при различных толщинах кадмия.

**Эффект экранировки горючего.** Для подавления щелевого эффекта между кадмием и образцом помещают прокладку из материала твэла. В экранированном объеме горючего интенсивность деления резко снижается, что приводит к уменьшению потока нейтронов через образец. Исследовано уменьшение интенсивности резонансного захвата в фольге с увеличением толщины прокладки от 2 до 100 мм.

Показано, что экранировка одинаковых объемов горючего вокруг фольги при измерениях в системах

## ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. С у б б о т и н и др. «Атомная энергия», 20, 482 (1966).
2. М. Н. А р н о л ь д о в и др. «Теплофизика высоких температур», 5, № 5 (1967).
3. В. И. С у б б о т и н и др. «Атомная энергия», 21, 511 (1966).

УДК 621.039.512.26:621.039.519

с различным шагом решетки может приводить к разным ошибкам. Сделана оценка небольшого возмущения, вызываемого кадмием на скорость деления в соседних твэлах.

**Эффект «тени» кадмия.** Причиной снижения потока нейтронов через образец может быть уменьшение интенсивности деления горючего вблизи кадмиевого экрана, вызванное депрессией потока тепловых нейтронов. Исследовано распределение скорости делений в твэле вблизи кадмия. Описан способ определения поправки на «тень» кадмия.

**Измерения с индикаторами  $1/v$ .** Резонансный захват нейтронов можно выделить, вычитая из полного захвата часть реакций, вызванных тепловыми нейтронами\*. В данной работе были проведены опыты с индикаторами из ванадия и сплава диспрозия (10%) с алюминием (90%). Полученные результаты сопоставлялись с данными прямых измерений кадмиевого отношения в  $U^{238}$ , при проведении которых были приняты меры для уменьшения перечисленных систематических погрешностей. Кадмиевое отношение в прямых измерениях оказалось несколько выше, однако различие лишь незначительно превышает ошибки эксперимента.

При использовании индикаторов  $1/v$  могут возникнуть систематические погрешности, поэтому измерения следует выполнять обоими методами и окончательное значение определять по совокупности полученных данных.

(№ 345/5155. Поступила в Редакцию 20/XI 1968 г., в окончательной редакции — 4/IV 1969 г. Полный текст 0,45 а. л., 5 рис., 4 библиографических ссылки.)

## Засыпные материалы в биологической защите ядерных реакторов

А. Н. КОМАРОВСКИЙ, В. Б. ДУБРОВСКИЙ, П. А. ЛАВДАНСКИЙ, В. Н. ЛЕДЕНЕВ

УДК 621.039.58

Приведены результаты исследования экономической эффективности применения в биологической защите ядерных реакторов засыпок из магнетитовой, боратовой и лимонитовой руд, окиси железа и обычного песка в сравнении с обычным бетоном. В восьми композициях рассматриваемых материалов определено пространственное распределение потоков нейтронов в 18-групповом  $P_1$ -приближении [1]. Анализ полученных данных показал:

1. Наилучшими защитными параметрами по отношению к быстрым нейтронам обладают обычный бетон

( $\lambda = 13,38$  см) и засыпка из лимонитовой руды ( $\lambda = 13,6$  см), содержание водорода в составе которых достаточно велико, а плотность сравнима с остальными рассматриваемыми материалами.

2. Распределение потоков энергии захватного  $\gamma$ -излучения [2] показывает, что они уменьшаются в материалах с увеличением содержания железа и уменьшением кремния.

\* T. E n g e l d e r et al. BAW-1273, 1963.

3. Основной вклад в мощность дозы (при кратности ослабления  $5 \cdot 10^9$ ) \* за защитой из засыпок, не имеющих в своем составе водорода, вносят промежуточные нейтроны. То же относится и к засыпке из смеси магнетитовой и лимонитовой руд, содержание водорода в которой невелико ( $\sim 3 \text{ кг/м}^3$ ).

4. Наличие достаточного количества водорода в обычном бетоне и засыпке из лимонитовой руды, а также сравнительно низкий объемный вес приводят к тому, что мощность дозы за защитой из них определяется потоками внешнего  $\gamma$ -излучения.

5. Введение бора в состав защит из негидратных засыпных материалов приводит к уменьшению толщины на 12,5–20%.

6. Биологическая защита ядерных реакторов из всех рассмотренных засыпных материалов в два — четыре раза дороже защиты из обычного бетона.

7. Если в процессе эксплуатации демонтаж защиты не осуществляется, то применение засыпных матери-

алов в биологической защите ядерных реакторов экономически неэффективно.

(№ 346/4747. Статья поступила в Редакцию 7/III 1968 г., аннотация — 7/VII 1969 г. Полный текст 0,5 а. л., 6 рис., 2 табл., 9 библиографических ссылок.)

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. И. Марчук и др. Критические параметры гомогенных размножающихся систем. М., Атомиздат, 1965.
2. М. Я. Кулаковский и др. «О расчете тепловыделений в бетонных защитах». Сборник трудов № 56 МИСИ им. В. В. Куйбышева, Москва, 1968.

## Расчет альбедных граничных условий на поверхности цилиндрического блока методом Монте-Карло

С. Н. БАРКОВ

УДК 621.039.521.001.2

При проведении гетерогенных расчетов реакторов [2] обычно предполагается, что в пространствах между размножающимися и поглощающими блоками справедливо диффузионное приближение. Учет блоков производится с помощью эффективных граничных условий.

В настоящей работе для определения структуры многогрупповых альбедных граничных условий используется диффузионное приближение.

Альбедные матрицы, характеризующие блок для каждой гармонике от разложения нейтронного потока в ряд Фурье на поверхности блока, вычисляются методом Монте-Карло.

Показано, что в  $P_1$ -приближении для одномерного цилиндрического блока альбедные граничные условия имеют вид

$$I_{nc}^+ = \hat{\beta}_n I_{nc}^-; \quad I_{ns}^+ = \hat{\beta}_n I_{ns}^- |_{\rho=\rho_0}, \quad (1)$$

где  $\hat{\beta}_n$  — альбедная матрица для  $n$ -й гармонике  $I_{nc}^\pm$ ;  $I_{ns}^\pm$  — амплитуды разложения векторов односторонних токов на поверхности блока:

$$I_{nc}^\pm(\rho, \omega) = \sum_{n=0}^{\infty} (I_{nc}^\pm \cos n\omega \pm I_{ns}^\pm \sin n\omega); \quad (2)$$

$\rho, \omega$  — полярные координаты, связанные с центром блока.

Если свойства блока зависят от  $\omega$ , то можно определить матрицы  $\hat{\beta}_{(n \leftarrow k)(c \leftarrow c)}$ ;  $\hat{\beta}_{(n \leftarrow k)(c \leftarrow s)}$ ;  $\hat{\beta}_{(n \leftarrow k)(s \leftarrow c)}$ ;  $\hat{\beta}_{(n \leftarrow k)(s \leftarrow s)}$ , тогда будут справедливы соотношения

$$\left. \begin{aligned} I_{nc}^\pm &= \sum_{k=0}^{\infty} (\beta_{(n \leftarrow k)(c \leftarrow c)} I_{kc}^- + \beta_{(n \leftarrow k)(c \leftarrow s)} I_{ks}^-); \\ I_{ns}^\pm &= \sum_{k=0}^{\infty} (\beta_{(n \leftarrow k)(s \leftarrow c)} I_{kc}^- + \beta_{(n \leftarrow k)(s \leftarrow s)} I_{ks}^-). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Наиболее интересен расчет матриц  $\hat{\beta}_0$  и  $\hat{\beta}_1$ , учет которых в большинстве случаев обеспечивает достаточную точность расчета гетерогенного реактора [1]. Была составлена программа на ЭВМ М-20 для расчета матриц  $\hat{\beta}_0$  и  $\hat{\beta}_1$  в случае одномерного цилиндрического блока по методу Монте-Карло. Рассматривается многозонный блок (до пяти зон) с поверхностным источником, излучающим по закону  $\cos^m \theta$ , где  $\theta$  — угол между траекторией и нормалью к поверхности блока. Матрицы  $\hat{\beta}_0$  и  $\hat{\beta}_1$  рассчитываются по одним и тем же траекториям. Необходимо фиксировать, к какому поколению относится вылетающий из блока нейтрон, и вести отдельный расчет альбедных матриц для нулевого, первого и т. д. поколений. Тогда

$$\left. \begin{aligned} \hat{\beta}_0 &= \hat{\beta}_0^{(0)} + \frac{1}{k_{эфф}} \beta_0^{(1)} + \frac{1}{k_{эфф}^2} \hat{\beta}_0^{(2)} + \dots; \\ \hat{\beta}_1 &= \hat{\beta}_1^{(0)} + \frac{1}{k_{эфф}} \beta_1^{(1)} + \frac{1}{k_{эфф}^2} \hat{\beta}_1^{(2)} + \dots, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где  $k_{эфф}$  — эффективный коэффициент размножения матрицы, верхний индекс 0 характеризует нейтроны, рассеявшиеся в блоке или прошедшие блок без столкновений, индекс 1 — нейтроны первого поколения, индекс 2 — нейтроны второго поколения и т. д. В программе кроме расчета альбедных матриц предусмотрено вычисление функционалов поглощения  $p$  и деления  $f$  по зонам. Количество поглощений и делений определяется как скалярное произведение  $2l\rho_0(p, I^-)$  и  $2l\rho_0(f, I^-)$ , где  $\rho_0$  — внешний радиус многослойного блока.

\* Кратность ослабления суммарной мощности дозы для большинства биологических защит мощных реакторов находится в пределах  $10^8 - 5 \cdot 10^9$ .