

Сравнение расчетов по двум программам

	Четырехгрупповая программа с использованием метода сеток	Программа с использованием предлагаемого метода с различным числом гармоник $m$				
		$m=1$	$m=5$	$m=10$	$m=15$	$m=20$
Эффективный коэффициент размножения $k_{эфф}$	1,08707	1,07710	1,08775	1,08722	1,08707	1,08701
Относительная погрешность в балансе нейтронов $\epsilon$ , %	0,102	3,26	0,173	0,0488	0,0168	0,00619
Время расчета на ЭВМ, отн. ед.	1	0,125	0,368	0,625	1,028	1,417

( $s$  равно 0, 1, 2 соответственно для плоской, цилиндрической и сферической геометрий реактора).

Таким образом, решение задачи свелось к последовательным вычислениям по соотношениям типа (7) и (10), к решению системы уравнений относительно  $b_i$  и  $b_i^*$  и использованию соотношения (11). Вид этих выражений не зависит от номера энергетической группы нейтронов и от номера итерации по источнику, что позволило разработать эффективный алгоритм расчета, удобный для программирования на ЭВМ.

К преимуществам данного метода следует отнести возможность получения детального распределения потоков нейтронов в любом интервале по радиусу реактора, поскольку оно определяется аналитическим решением (9), коэффициенты которого находят в процессе итераций источников.

Были проведены расчеты для цилиндрического реактора в четырехгрупповом приближении, которые показали, что время расчетов по предлагаемому методу может быть меньше времени расчетов по существующим программам с использованием метода сеток. Это следует из таблицы, в которой приводятся значения эффективного коэффициента размножения нейтронов, относительная погрешность в полном балансе нейтронов и относительное время расчетов на ЭВМ при использовании двух программ. Сходимость метода анализируется в работе [3], где показано, что достаточно использовать небольшое число гармоник (10—15).

Поступило в Редакцию 19/VI 1969 г.  
В окончательной редакции 28/X 1969 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. И. Марчук. Численные методы расчета ядерных реакторов. М., Атомиздат, 1958.
2. Е. С. Глушков, Н. Н. Пономарев-Степной, Н. А. Петушкова. «Атомная энергия», 26, 464 (1969).
3. Е. С. Глушков, Н. Н. Пономарев-Степной, Н. А. Петушкова. Препринт Института атомной энергии им. И. В. Курчатова № 1938, М., 1969.

и имеет вид (9). Тогда коэффициенты разложения (5) могут быть вычислены по соотношению

$$E_{jm} = \frac{\int_0^{R_0} \Phi_j(r) \psi_m(r) r^s dr}{\int_0^{R_0} \psi_m^2(r) r^s dr} \quad (11)$$

К теории метода импульсного источника нейтронов в гетерогенных средах

А. В. СТЕПАНОВ

УДК 539.125.25

Результаты измерения  $\lambda$  — постоянной затухания во времени основной пространственной гармоники функций распределения нейтронов в гетерогенной среде — обычно сопоставляют с феноменологическим выражением для  $\lambda$ , которое в практически интересном случае среды с цилиндрическими каналами или блоками имеет вид [1]

$$\lambda = \lambda_0 + D_r B_r^2 + D_z B_z^2 - C_r (B_x^4 + B_y^4) - C_z B_z^4 - C_{rz} B_r^2 B_z^2 - C_{rr} B_x^2 B_y^2 + 0 (B^6). \quad (1)$$

Здесь  $\lambda_0$  — постоянная затухания потока нейтронов в неограниченной среде;  $B_i$  — составляющие геометрического параметра (ось  $z$  направлена вдоль оси

каналов);  $B_r^2 = B_x^2 + B_y^2$ ;  $D_y^2$  и  $D_r$  — коэффициенты диффузии в продольном и поперечном направлениях соответственно, а  $C_i$  — набор коэффициентов диффузионного охлаждения.

Формула (1) является обобщением соответствующего выражения для  $\lambda$  при термализации нейтронов в однородной среде и содержит значительно большее число параметров, подлежащих определению. Это значительно усложняет обработку экспериментальных данных.

Попытки установить соотношения между  $C_i$  и тем самым уменьшить число неизвестных параметров не имели серьезного теоретического обоснования и привели к неоднозначным выводам [1].

Предположим, что полученное экспериментально значение  $\lambda$  можно сопоставить с постоянной затухания макроскопического потока нейтронов. Тогда, используя результаты теории переноса нейтронов в неоднородных средах [2], нетрудно показать\*, что

$$C_{rz} = C_r + C_z \approx 2 \sqrt{C_r C_z}; \quad C_{rr} = 2C_z; \quad \frac{C_z}{C_r} = \left( \frac{D_z}{D_r} \right)^2. \quad (2)$$

При выводе соотношений (2) предполагалось, что зависимость потока нейтронов от энергии можно описать при помощи двух полиномов Лагерра от энергии, умноженных на максвелловское распределение [3]\*\*. Для простоты примем также, что  $\lambda_{si}$  — длины свободного пробега по отношению к рассеянию — не зависят от энергии ( $i = z, r$ ). Если  $\lambda_{si}$  зависят от энергии, то последнее соотношение в системе (2) принимает вид

$$\frac{C_z}{C_r} = \frac{\left\{ [\lambda_{sz}(E)]_{01} - [\lambda_{sz}(E)]_{00} \left[ \frac{1}{v} \right]_{01} \right\}^2}{\left\{ [\lambda_{sr}(E)]_{01} - [\lambda_{sr}(E)]_{00} \left[ \frac{1}{v} \right]_{01} \right\}^2}, \quad (3)$$

где  $[f]_{mi}$  — матричные элементы по полиномам Лагерра [3].

При обработке результатов измерений для небольших блоков необходимо корректно определить экстраполированные размеры блока. Рассматривая затухание макроскопического потока, можно показать [2], что  $d_i$  — длины линейной экстраполяции в  $P_1$ -приближении — определяются соотношением

$$d_i = \frac{2}{3} \lambda_{tr, i}, \quad i = z, r. \quad (4)$$

Полагая, что в первом приближении гетерогенные эффекты и недиффузионные поправки выступают в соотношении (4) независимо, можно обобщить (4), заменяя коэффициент  $2/3$  на  $0,71$ . В таком виде выражения для  $d_i$  были использованы ранее некоторыми авторами [1].

В экспериментах с однородными системами, выполненных методом «отравления»\*\*\*, постоянная

затухания нейтронного импульса в неограниченной гетерогенной среде сопоставляется с теоретическим выражением

$$\lambda = \lambda_1 + \varepsilon, \quad (5)$$

где  $\lambda_1 = [\Sigma_a^{\text{эфф}}(E)]_{00} / \left[ \frac{1}{v} \right]_{00}$  — постоянная затухания, вычисленная в односкоростном приближении;  $\Sigma_a^{\text{эфф}}(E)$  — эффективное сечение поглощения в системе с учетом блок-эффекта [2]. Многоскоростная поправка  $\varepsilon$  зависит от концентрации ядер поглотителя  $N$  следующим образом:

$$\varepsilon \approx \alpha N^2 + \beta_1 N^3 + \beta_2 N^4. \quad (6)$$

Первые два слагаемых характеризуют однородную среду ( $\lambda_1$  также имеет компонент  $\sim N^2$ ), а последнее учитывает влияние гетерогенности. Таким образом, анализируя зависимость  $\lambda = \lambda(N)$ , можно в принципе оценить влияние блок-эффекта в поглощении на термализацию нейтронов.

Поступило в Редакцию 9/III 1970 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. С о р и ć et al. Nucl. Sci. Engng, 19, 74 (1964); И. Ф. Ж е ж е р у н. In «Proc. Symp. on Neutron Thermalization and Reactor Spectra (Ann Arbor, 1967)». Vol. 2. Vienna, IAEA, 1968, p. 449; V. D e n i z et al. Nucl. Sci. Engng, 32, 201 (1968).
2. А. В. С т е п а н о в. Kernenergie, 11, 125, 148 (1968); In «Proc. Symp. on Neutron Thermalization and Reactor Spectra (Ann Arbor, 1967)». Vol. 1. Vienna, IAEA, 1968, p. 193.
3. М. В. К а з а р н о в с к и й и др. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958)». Докл. советских ученых. Т. 1. М., Атомиздат, 1959, стр. 469.
4. М. В. К а з а р н о в с к и й. In «Proc. Symp. on Neutron Thermalization and Reactor Spectra (Ann Arbor, 1967)». Vol. 2. Vienna, IAEA, 1968, p. 287.

## Метод определения доли делений над тепловыми нейтронами, основанный на измерениях реактивности

В. Е. ДЕМИН, О. Н. СМЕРНОВ

УДК 621.039.51.15

Спектральные характеристики реактора, такие, как кадмиевое отношение, доля делений на быстрых нейтронах, определяются обычно активационным методом.

\* Соотношение  $C_{rz} = C_r + C_z$  использовалось ранее без вывода в работе Деница и др. [1].

\*\* Аналогичные результаты можно получить путем произвольного разбиения потока нейтронов на две энергетические группы или в модели вырожденного ядра рассеяния.

\*\*\* На возможность изучения термализации в гетерогенных системах методом «отравления» впервые обратил внимание М. В. Казарновский [4].

Этот метод отличается высокой точностью, однако он не всегда применим (особенно для элементов гетерогенного реактора).

В настоящей работе рассматривается метод определения доли делений надтепловыми нейтронами, основанный на измерениях изменений реактивности. Эти изменения вызываются замещениями элементов реактора, содержащих делящееся вещество, такими же элементами в кадмиевой оболочке, а также элементами без делящегося вещества в оболочке из кадмия и без нее, но с такими же поглощающими и рассеивающими свойствами. При таких замещениях в объеме  $V_i$  реактора изменения реактивности определяются соотно.