

Сравнение вычисленных и экспериментальных значений потока тепловых и надтепловых нейтронов.

○ — эксперимент [9].

$$-\frac{1}{\Sigma_a} F(z, \tau_{th}, 0), \quad (8)$$

где

$$F(z, \tau_{th}, \gamma) = \left[ \frac{c}{L^2} \left( 1 + \frac{\varepsilon \theta'}{2\lambda_s^2} \right) - \frac{\gamma \theta'}{2\lambda_s^2} \right] \chi_0(z, \tau_{th}) + \frac{\tau_{th} \theta'}{4\pi \lambda_s^4} \left( \gamma - \frac{\varepsilon c}{L^2} \right) e^{\frac{\tau_{th}}{2\lambda_s^2} \left( z^2 + \frac{\tau_{th}^2}{\lambda_s^2} \right) - \frac{1}{2}} \times K_1 \left( \frac{1}{2\lambda_s} \sqrt{z^2 + \frac{\tau_{th}^2}{\lambda_s^2}} \right). \quad (9)$$

Численные расчеты потока тепловых нейтронов  $\varphi_0(z)$  выполнены для источника с начальной энергией  $E_0 = 1 \text{ Мэв}$ , расположенного в воде. Параметры замедления  $\lambda_s^2$  и  $\theta_0$  усреднены по фермиевскому возрасту и равны соответственно 1,796 и 1,468 см<sup>2</sup>; параметры

$l_s, \xi, \bar{\xi}^2, \mu, f_1^{(1)}$  вычислены при энергии 0,025 эв (сечения рассеяния в работе [8]). Для параметров диффузии тепловых нейтронов взяты экспериментальные значения:  $L = 2,714 \text{ см}$ ;  $\Sigma_a = 0,0221 \text{ см}^{-1}$ ;  $\Sigma = 2,690 \text{ см}^{-1}$ ;  $\Sigma_{tr} = 2,049 \text{ см}^{-1}$  [8].

Результаты численных расчетов величины  $\varphi_0(z)$  по формулам (7, 8) приведены на рисунке (кривая 1). Для сравнения приводятся также результаты расчета по диффузионно-возрастной модели (кривая 2). Там же показана зависимость потока  $\varphi(z) = \chi_0(z, u) l_s(u) / \xi(u)$  для нейтронов, замедленных до энергии индиевого резонанса (кривая 3), и соответствующие результаты возрастной теории (кривая 4). Экспериментальные распределения тепловых и «индиевых» нейтронов взяты из работы [9]. Как видно из рисунка, кривые 1 и 3, полученные на основе  $P_2$ -приближения, хорошо соответствуют экспериментальным данным на всех расстояниях от источника.

Отметим, что для сильно замедленных нейтронов функция  $F(z, \tau_{th}, \gamma)$  имеет смысл поправки к основным членам в выражении (8). Так, учет анизотропии функции источника в данном случае слабо отражается на величине потока тепловых нейтронов. Если анизотропию не учитывать [формально  $c = 0$  в формуле (9)], то для  $z = 0$ , например, результат увеличивается на ~0,3%, а для  $z = 60 \text{ см}$  уменьшается на ~1%. Кроме того, в соответствии с соотношением (4) члены в выражении (9), пропорциональные  $\gamma$  и  $\varepsilon$ , тоже слабо влияют на величину потока. Поэтому для упрощения расчетов в формуле (8) можно положить  $F = 0$ . Ошибка в данном случае составляет  $\leq 4\%$ .

Поступило в Редакцию 15/III 1974 г.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Marshak R. «Rev. Mod. Phys.», 1947, v. 19, p. 185.
2. Веселов М. В. В сб.: Вопросы физики защиты реакторов. М., Атомиздат, 1963, с. 89.
3. Козачок И. А. «Доп. АН УРСР», сер. Б, 1968, № 4, с. 328.
4. Козачок И. А., Кулик В. В. «Атомная энергия», 1972, т. 32, вып. 4, с. 307.
5. Румянцев Г. Я. «Атомная энергия», 1961, т. 10, вып. 1, с. 26.
6. Марчук Г. И. и др. В сб.: Теория и методы расчета ядерных реакторов. М., Госатомиздат, 1962, с. 25.
7. Галанин А. Д. Теория гетерогенного реактора. М., Атомиздат, 1971.
8. Гордеев И. В., Кардашев Д. А., Малышев А. В. Ядерно-физические константы  $\gamma$  и  $\varepsilon$ . М., Атомиздат, 1963.
9. Кухтевич В. И., Синицын Б. И. «Атомная энергия», 1961, т. 10, вып. 5, с. 521.

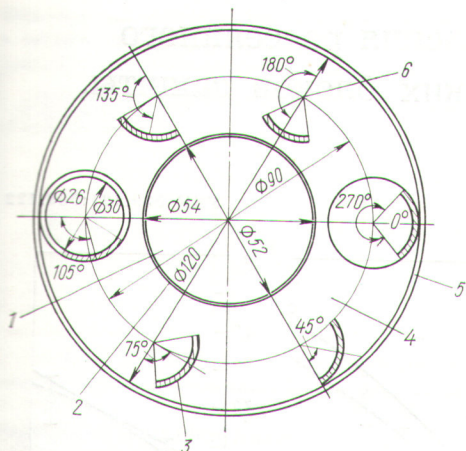
## Расчет эффективности сегментных регуляторов и его экспериментальное обоснование

БОЛОБОВ П. А.; ОРЛОВА Е. М.; РОМОДАНОВ В. Л., ТОПИЛЬСКИЙ Л. Н. ШИШКОВ Л. К.

УДК 621.039.562.24

Одна из актуальных задач расчета реактора — определение эффективности регулирующих элементов сложной формы. Возможно рассмотрение конкретной геометрии, однако разнообразие реальных ситуаций требует создания различных приближенных методов.

В ряде случаев удовлетворительных результатов можно достигнуть с помощью теории возмущений или ее модификаций. Большой интерес представляет возможность экспериментальной проверки того или иного приближения.



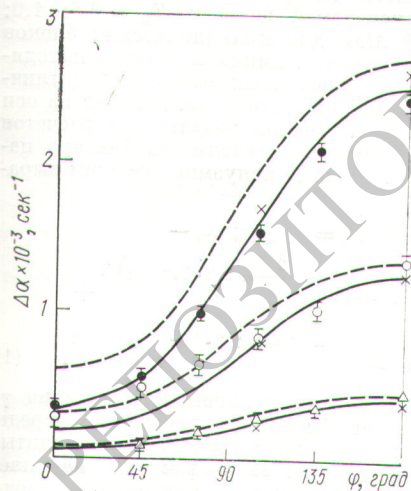
Р и с. 1. Поперечный разрез экспериментальной установки:

1 — внутренняя зона — вода, отравленная борной кислотой (концентрация  $H_3BO_3$  составляет  $0,0135 \text{ г/см}^3$ ); 2 — внутренний алюминиевый корпус; 3 — медный сегментный поглотитель; 4 — внешняя зона — дистиллированная вода; 5 — внешний алюминиевый корпус; 6 — центр вращения поглотителя.

Измерения с помощью метода импульсного нейтронного источника применительно к неразмножающим средам являются одним из способов экспериментальной проверки методики расчета регуляторов сложной формы.

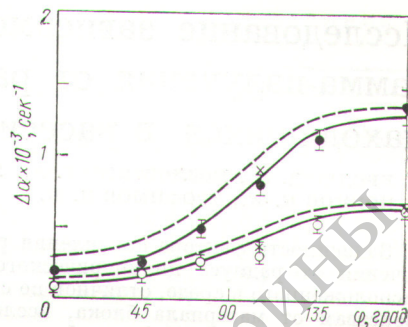
Отметим следующие преимущества этого метода.

1. Возможно корректное одногрупповое описание асимптотической нейтронной плотности в неразмножающих средах, где реализуется спектр Максвелла.
2. Можно провести эксперимент в геометрии, полностью соответствующей проверяемым при расчете условиям.



Р и с. 2. Зависимость разности константы спада в среде с медными поглотителями толщиной 2 мм и без них от угла поворота.

Эксперимент; число поглотителей: ● — шесть; ○ — три; △ — один. Расчет: — — — теория возмущений; — — — метод колец; × —  $r, \varphi$ -программа.



Р и с. 3. Зависимость разности константы спада в среде с медными поглотителями толщиной 1 мм и без них от угла поворота (обозначения те же, что на рис. 2).

3. Форма распределения асимптотической нейтронной плотности не зависит от источника и определяется геометрией среды и ее свойствами и в этом смысле подобна распределению плотности в критическом реакторе.

4. Делящиеся вещества отсутствуют в опыте, что упрощает и упрощает эксперимент.

Экспериментальная установка представляет собой цилиндр высотой 24 см (рис. 1). Во время эксперимента при различных положениях сегментных поглотителей в системе определялась константа спада тепловых нейтронов  $\Delta\alpha$ . Расчетное изменение ее после введения поглотителей определялось для бесконечной по высоте системы в одногрупповом диффузионном приближении тремя различными методами.

1. Теория возмущений первого порядка. В качестве невозмущенной рассматривалась система без поглотителей.

2. Метод колец. Предварительно рассчитывается эффективность ряда простых вспомогательных форм, расположенных так, что из частей их объемов можно составить исходную неоднородность. Пусть эффективность простой неоднородности номера  $i$  есть  $\rho_i$ , а доля ее объема, совпадающего со сложной неоднородностью, есть  $\varepsilon_i$ , тогда эффективность  $\rho$  исходной (сложной) неоднородности вычисляется по формуле  $\rho = \sum_i \rho_i \varepsilon_i$  и, в частности,  $\Delta\alpha = \sum_i \Delta\alpha_i \varepsilon_i$ . В данном случае в качестве вспомогательных форм рассматривались кольцевые поглотители того же состава и такой же толщины, что и сегментные поглотители. Центры колец совпадали с осью симметрии системы, а их диаметр варьировался от 120 до 180 мм.

3. Двумерная  $r, \varphi$ -программа. Константа спада была рассчитана для углов поворота  $\theta = 105$  и  $180^\circ$  (см. рис. 1).

Допустимость приближения бесконечной по высоте системы проверялась экспериментально: разность константы спада в системе с поглотителями и без них определялась как функция высоты уровня воды в установке. Результаты расчетов и экспериментов представлены на рис. 2 и 3.

Таким образом, можно сделать вывод о хорошем согласии расчетных и экспериментальных результатов и применимости метода импульсного эксперимента для обоснования расчетных алгоритмов.

Поступило в Редакцию 15/III 1974 г.