

УДК 621.039.51

Учет многократных столкновений нейтронов при изучении самоэкранирования образцов

МАМОНТОВ В. Ф., ДУЛИН В. А.

При анализе коэффициентов реактивности материалов (КР), измеренных на критических сборках, рассчитывают влияние размеров образцов на КР [1]. Это необходимо для внесения поправок на конечные размеры образцов или для получения экстраполированных значений КР, т. е. КР для образцов с «нулевыми» размерами, что в итоге позволяет привести экспериментальные и расчетные (по теории возмущений первого порядка) данные к адекватным условиям. Ранее в работах [1, 2] описаны способы расчета таких поправок, основанные главным образом на рассмотрении однократных соударений нейтронов в образце. Анализ показал, что учет повторных соударений нейтронов при расчете возмущенного потока в образце позволяет лучше описать ход экспериментальной зависимости КР, особенно при трансформации спектра нейтронов за счет процессов деления или рассеяния.

При учете многократных столкновений исходят из того, что для нейтронов, родившихся в образце в результате деления или однократно рассеявшихся, существует определенная вероятность повторного взаимодействия с ядрами

образца. Так как эти нейтроны возникли внутри образца, то средний путь их пробега в образце примерно в два раза короче, чем для нейтронов, попавших туда извне.

В соответствии с работами [1, 2] возмущенный групповой поток нейтронов в образце, помещенном в центр критической сборки, можно записать в виде

$$\Phi_j^*(l) = \Phi_j d_j(l) + \chi_j \sum_{j=1}^G \Phi_j [1 - d_j(l)] \frac{v_j \sigma_j^j}{\sigma_j^j + \sigma_c^j} + \sum_{i=1}^{i=j} \Phi_i \frac{\sigma_i^{i \rightarrow j}}{\sigma_0 + \sigma_i^i} - \Phi_j \frac{1}{\sigma_0 + \sigma_j^j} \sum_{i=j}^G \sigma_j^{j \rightarrow i}. \quad (1)$$

Здесь $l = 4V/S$ — средняя хорда (V — объем, S — поверхность) образца, см; $\sigma_0 = 1/LN$ (N — плотность ядер в образце); $d_j(l)$ — коэффициент резонансной и нерезонансной самоэкранировки нейтронов для образца размерами lN .

В приведенном выражении (в том числе и в полных групповых сечениях σ_i^i) учитывается сечение рассеяния внутри группы $\sigma_j^{j \rightarrow j}$. Второй и третий члены выражения (1) для возмущенного потока соответствуют нейтронам, рожденным в образце в результате деления и рассеяния. Поток таких нейтронов можно рассматривать как исходный для вторых соударений в образце. При вычислении возмущенного потока после второго и последующих соударений применяют то же выражение (1), что и для первого соударения, но используют в нем коэффициенты блокировки для образца вдвое меньшего размера, т. е. $d_j(l/2)$, значение σ_0 удваивают, а в качестве исходных Φ_j принимают потоки нейтронов, рожденных при предыдущих взаимодействиях. Тогда возмущенный поток после первого соударения можно записать в виде

$$\Phi_j^* = \Phi_j^*(o) + \Phi_j^*(p), \quad (2)$$

после второго соударения

$$\Phi_j^* = \Phi_j^*(o) + \Phi_j^{*'}(o) + \Phi_j^{*'}(p), \quad (3)$$

после n -кратного

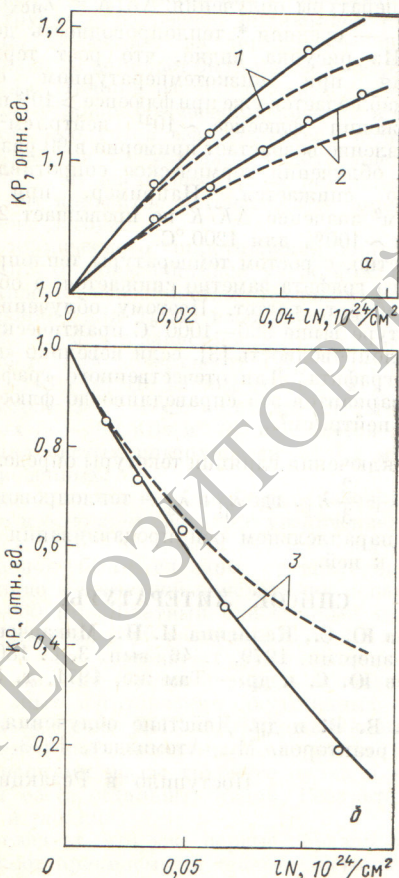
$$\Phi_j^* = \Phi_j^*(o) + \Phi_j^{*'}(o) + \dots + \Phi_j^{*n}(o) + \Phi_j^{*n}(p). \quad (4)$$

Здесь $\Phi(p)$ — поток нейтронов, рожденных после соответствующего соударения; $\Phi(o)$ — поток оставшихся нейтронов (не взаимодействовавших). Приведенные соотношения использованы при расчете самоэкранирования образцов, применяемых для измерения КР материалов на большом физическом стенде (БФС).

На рисунке дано сравнение экспериментальных и расчетных зависимостей центральных КР материалов от размеров образцов для сборки БФС. БФС-35 — сборка из металлического урана со вставкой, имеющей $K_\infty = 1$. Сборка БФС-38-2 отличается от БФС-35 тем, что в ней вместо ^{235}U использован ^{239}Pu [3]. БФС-39 — модель большого уранового энергетического реактора [3].

Расчеты проводили на основе 26-групповой системы констант БНАБ-78 [4]. Сравнение опытных и теоретических данных показывает, что расчеты с учетом многократных столкновений существенно лучше описывают экспериментальные зависимости.

Для сильных поглотителей (^{10}B , ^6Li) учет многократного рассеяния нейтронов очень мало влияет на зависимость относительного изменения реактивности от размеров образцов. Для слабых резонансных поглотителей



Зависимость коэффициента реактивности ^{239}Pu (а) и водорода (б) от размеров образцов: 1 — БФС-39; 2 — БФС-35; 3 — БФС-38-2; ○ — эксперимент; — — расчет с многократными столкновениями; - - - расчет с однократными столкновениями

с большим сечением упругого рассеяния (железо, никель) при расчете составляющей коэффициента реактивности вследствие упругого замедления нужно использовать выражение (1) с $d_j(l) = 1$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казанский Ю. А. и др. Методы изучения реакторных характеристик на критических сборках БФС. М., Атомиздат, 1977.

2. Дулин В. А., Мамонтов В. Ф. Препринт ФЭИ-392. Обнинск, 1973.
 3. Голубев В. И. и др. — In: Proc. Intern. Symp. on Fast Reactor Physics 1979. V. 1. Vienna, IAEA, 1980, rep. IAEA-SM-244/79, p. 207.
 4. Абагян Л. П. и др. — Атомная энергия, 1980, т. 48, вып. 2, с. 117.

Поступило в Редакцию 23.06.80

УДК 621.039.515

Исследование различных органов СУЗ на критической сборке

БУТЕ В. В., КРУЗЕ У. А., ЛИЕНА Э. Л., ПЛАТАЦИС Э. Я., ТОМСОНС Э. Я.

Одно из устройств для регулирования реактивности реактора — жидкометаллический регулятор (ЖМР) [1]. Принцип его работы заключается в изменении соотношения объемов жидких металлов с различным сечением поглощения нейтронов в органе регулирования, размещенном в эффективном пространстве активной зоны. Так как в последние годы на ядерно-энергетических установках все шире применяют системы жидкостного регулирования [2], то интересно исследование характеристик указанного устройства. В связи с этим на критической сборке проведены эксперименты в целях определения основных рабочих характеристик ЖМР и сравнения их с характеристиками других регуляторов, в частности стержня, поворотного цилиндра (ПЦ) и торцового отражателя (ТО).

В экспериментальном исследовании ЖМР с органом регулирования, выполненным в виде плоской камеры определенных размеров. Толщину слоя поглотителя нейтронов (легкоплавкого эвтектического расплава InGaSn) изменяли в пределах 0—5 мм. Стержень компенсирующего органа (КО) СУЗ изготовлен из диоксида бора, а стержень автоматического регулятора (АР) — из трубки нержавеющей стали X18H10T. Конструкция ПЦ сборная. Он состоит из бериллиевого цилиндра наружным диамет-

ром 114 мм, на поверхности которого установлен сегмент с углом 120°, изготовленный из поглотителя нейтронов толщиной 5 мм. Бериллиевый цилиндр с поглотителем помещен в чехол из нержавеющей стали [4]. Регулирующий торцовый отражатель активной зоны сборки выполнен из водо-алюминиевого состава (25% по объему алюминия) [3].

Регуляторы исследовали на критической сборке, являющейся моделью водо-водяного реактора. Активная зона сборки состояла из твэлов реактора ИРТ типа ТВС-2М (рис. 1) с топливом в виде высокообогащенного урана [3]. Масса ^{235}U в активной зоне сборки — 1,35 кг, отношение концентрации ядер водорода к ^{235}U равно 400. Боковой отражатель сборки изготовлен из блоков металлического бериллия толщиной 136—204 мм.

Для сравнения органов СУЗ изучали непроизводительное поглощение ими нейтронов, изменение интегральной и дифференциальной реактивности и характер процесса ее изменения. Эффективность органов СУЗ в сборке оценивали по методу установившегося периода разгона мощности реактора.

Некоторые затруднения при изучении характеристик регуляторов были связаны с размещением последних в различных местах активной зоны. Так, стержневые органы СУЗ помещали в ТВС-2М вместо центрального твэла, а ЖМР и ПЦ — в бериллиевом боковом отражателе (см. рис. 1). В свою очередь, характеристи-

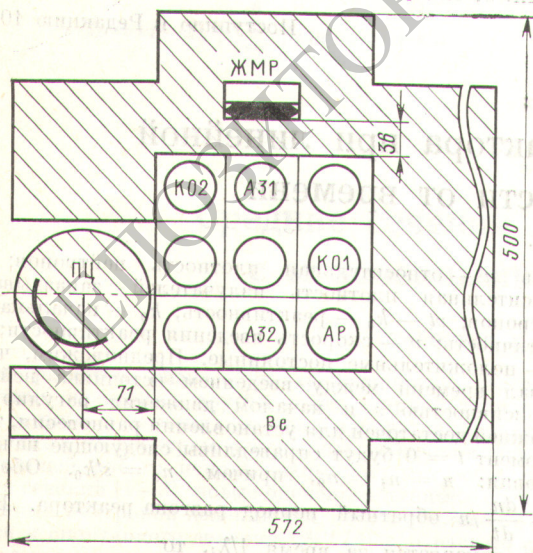


Рис. 1. Картограмма критической сборки: А31, А32 — стержни аварийной защиты; КО1, КО2 — стержни-компенсаторы; АР — стержень регулятора

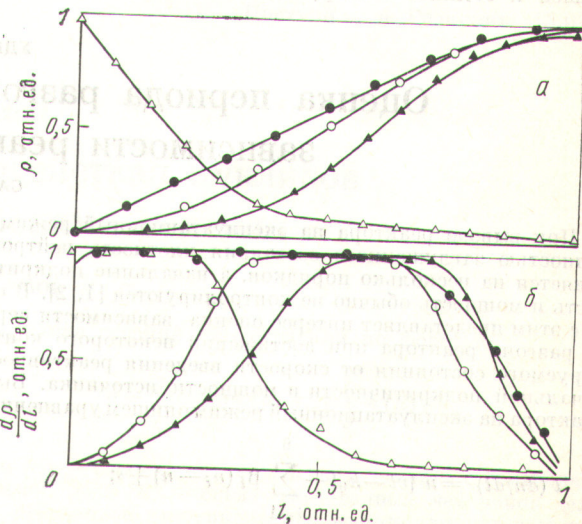


Рис. 2. Интегральные (а) и дифференциальные (б) характеристики органов СУЗ: ● — ЖМР; ○ — АР; ▲ — ПЦ; △ — ТО