

Распределение быстрых нейтронов деления вдоль прямых цилиндрических каналов в воде

В. П. МАШКОВИЧ, А. Н. НИКОЛАЕВ, В. К. САХАРОВ,
Б. И. СИНИЦЫН, С. Г. ЦЫПИН

УДК 539.125.52

Исследовано прохождение нейтронов реактора БР-5 внутри прямых цилиндрических каналов диаметрами 144 и 90 мм, расположенных в воде. Детекторами нейтронов являлись серные и алюминиевые пороговые индикаторы.

Получены данные по ослаблению потока быстрых нейтронов вдоль оси прямых цилиндрических каналов от дискового и бесконечного плоского мононаправленного источника нейтронов деления, изучено влияние сдвига в каналах на ослабление нейтронного излучения. Полученная информация может быть использована для расчета прохождения нейтронного излучения вдоль ступенчатых каналов.

При проектировании защиты установок, включающих источники излучений, часто приходится рассчитывать прохождение излучения через щели и каналы, пронизывающие защиту.

Проведенные ранее экспериментальные и теоретические исследования прохождения нейтронов через щели и каналы в защите, например [1—5], посвящены изучению влияния каналов и щелей на прохождение нейтронного излучения в защите от изотропных и косинусоидальных источников. В настоящей работе исследовано влияние прямых цилиндрических каналов в воде на прохождение быстрых нейтронов деления от мононаправленного источника.

Эксперименты проводились на установке Б-2 [6] реактора БР-5 [7]. Источником нейтронов являлась активная зона реактора. Нейтроны

из активной зоны, окруженной никелевым отражателем, проходили в защите реактора через канал длиной ~ 220 см и диаметром ~ 30 см. Полная угловая расходимость пучка нейтронов на выходе канала реактора составляла ~ 5°. Спектр быстрых нейтронов на выходе из канала реактора при энергиях нейтронов $E_n > 3$ Мэв практически совпадает со спектром деления [8].

Экспериментальная установка, схема которой изображена на рис. 1, представляла собой стальную бак размерами 137 × 139 × 217 см, заполненный водой. Пучок нейтронов реактора входил в бак через середину стенки размерами 137 × 139 см. Прямые цилиндрические каналы диаметрами 9,0 и 14,4 см имитировались прямыми полыми трубами из полиэтилена с указанными выше внутренними диаметрами толщиной стенки 1 см и длиной 200 см. С помощью специальной системы крепления эти трубы устанавливались в баке с водой на различных расстояниях D от оси пучка нейтронов так, чтобы ось трубы всегда была строго параллельна оси пучка источника. В качестве детекторов быстрых нейтронов применялись пороговые индикаторы $S^{32}(n, p)P^{32}$ и $Al^{27}(n, \alpha)Na^{24}$ с эффективными энергетическими порогами ~ 3 и ~ 7 Мэв соответственно. Индикаторы представляли собой диски диаметром 35 мм из алюминия марки АВ-000 (толщиной 4 мм) и химически чистой серы (толщиной 6 мм). Распределение быстрых нейтронов определялось по наведенной в индикаторах β -активности методом, описанным в работе [8].

Детекторы нейтронов с помощью специального детектородержателя ставились на различных расстояниях z вдоль оси полого цилиндрического канала. Так как при измерениях вдоль канала устанавливалось одновременно несколько индикаторов, в полученные экспериментальные данные вводилась поправка на поглощение в индикаторах.

Распределения потока быстрых нейтронов, полученные с учетом указанной поправки по измерениям серными и алюминиевыми индикаторами при $D = 0$, совпали в пределах ошибок эксперимента. Они приведены на рис. 2 (кривая 1). Представляло интерес исключить в при-

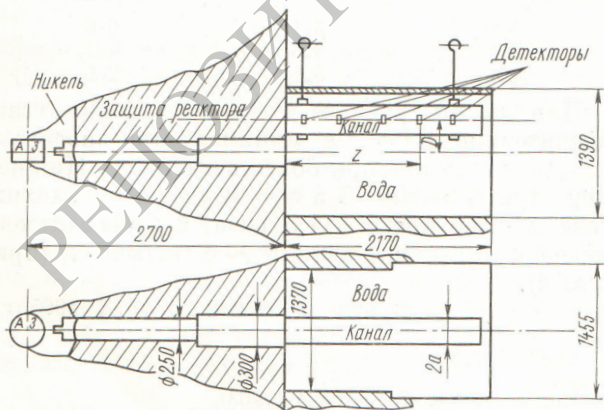
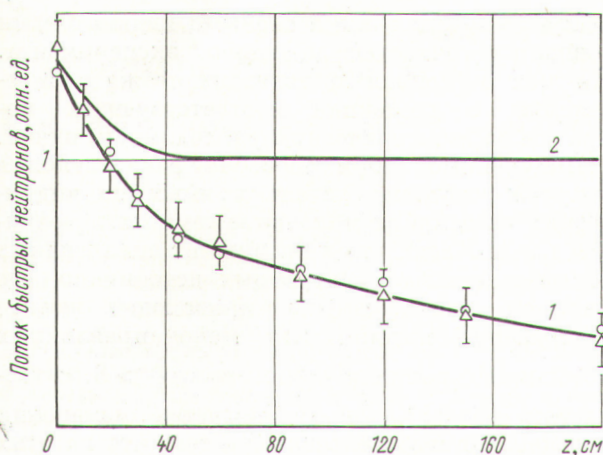


Рис. 1. Схема экспериментальной установки (размеры даны в миллиметрах).



Р и с. 2. Ослабление потока быстрых нейтронов вдоль прямых цилиндрических каналов диаметрами 9 (Δ) и 14,4 см (○) от дискового источника радиусом ~ 30 см по измерениям серным индикатором при $D = 0$:

1 — ослабление потока нейтронов от дискового источника с угловой расходимостью 5° ; 2 — ослабление потока нейтронов от дискового мононаправленного источника без угловой расходимости.

веденных данных угловую расходимость пучка и получить распределение быстрых нейтронов от дискового мононаправленного источника. Учет угловой расходимости производился умножением данных, представленных кривой 1, на поправочный коэффициент k , определяемый из соотношения

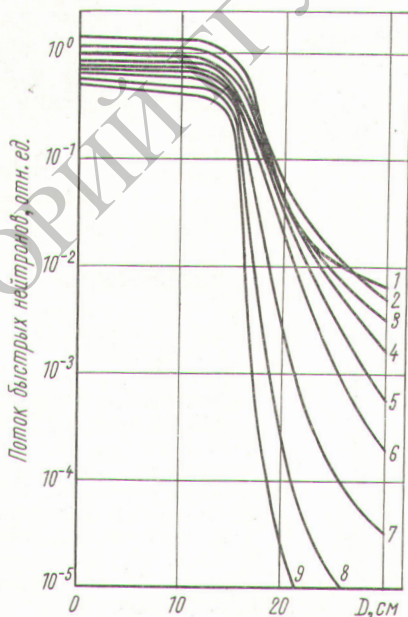
$$k = \frac{(H+z)^2}{H^2},$$

где $H = 270$ см — расстояние от центра активной зоны реактора до переднего торца канала; z — расстояние вдоль канала. Поправка вводилась в предположении, что активная зона реактора для данной геометрии эксперимента может быть представлена в виде точечного источника нейтронов, расположенного в центре активной зоны, и что угловая расходимость источника оказывает влияние только на поток нерассеянных нейтронов.

Распределение нейтронов с введением поправки на расходимость пучка представлено на рис. 2 (кривая 2).

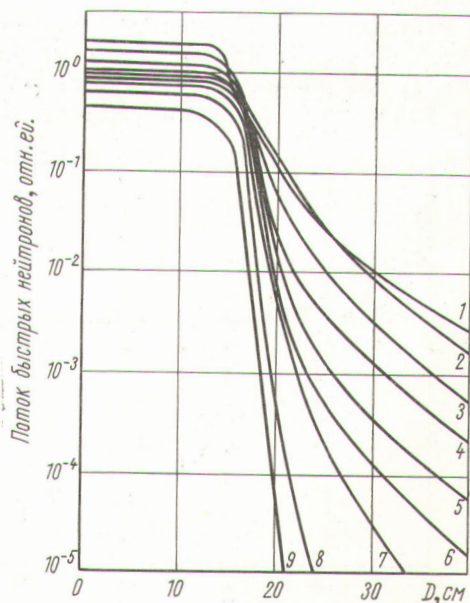
Полиэтиленовые трубы устанавливались в баке с водой на различных расстояниях D относительно оси канала реактора. Таким путем было исследовано влияние величины сдвига канала на прохождение быстрых нейтронов. На рис. 3 и 4 приведены экспериментальные данные, полученные с помощью серных индикаторов, по прохождению быстрых нейтронов вдоль канала для разных величин сдвига D и различных расстояний z вдоль каналов двух диаметров. Данные, полученные с помощью алюминиевых индикаторов, дали подобную зависимость ослабления быстрых нейтронов в канале от величины сдвига D .

Результаты, представленные на рис. 3, 4, подтверждают, что введение сдвигов в прямых цилиндрических каналах может являться эффективным средством ослабления излучения вдоль канала. Причем для получения максимального эффекта от введения сдвига достаточно, чтобы его величина была несколько больше R . При больших величинах сдвига ($D > 2R$) ход кривой распределения быстрых нейтронов в канале в зависимости от вели-



Р и с. 3. Ослабление потока быстрых нейтронов, измеренное серными индикаторами, в зависимости от величины сдвига D для различных расстояний z вдоль канала диаметром 9 см:

1 — $z = 0$ см; 2 — 10 см; 3 — 20 см; 4 — 30 см; 5 — 45 см; 6 — 60 см; 7 — 90 см; 8 — 120 см; 9 — 150 см.



Р и с. 4. Ослабление потока быстрых нейтронов, измеренное серными индикаторами, в зависимости от величины сдвига D для различных расстояний z вдоль канала диаметром 14,4 см:

1 — $z = 0$ см; 2 — 10 см; 3 — 30 см; 4 — 45 см; 5 — 60 см; 6 — 90 см; 7 — 120 см; 8 — 150 см; 9 — 200 см.

чины сдвига совпадает в пределах ошибок эксперимента с распределением быстрых нейтронов в чистой воде в отсутствие канала.

Приведенные на рис. 3 и 4 данные представляют собой распределение потока быстрых нейтронов вдоль прямых цилиндрических каналов от дискового мононаправленного источника с угловой расходимостью $\sim 5^\circ$, ось которого смещена относительно оси канала на расстоянии D . Эти данные могут быть использованы для получения распределения быстрых нейтронов вдоль каналов от бесконечного плоского мононаправленного источника с той же угловой расходимостью. Преобразование от дискового источника к бесконечному плоскому осуществлялось по формуле

$$\Phi_\infty(z) = C \int_0^\infty \Phi_{\text{диск}}(z, D) D dD,$$

где $\Phi_\infty(z)$ — поток нейтронов на оси прямого цилиндрического канала на расстоянии z от бесконечного плоского источника; $\Phi_{\text{диск}}(z, D)$ — поток нейтронов на расстоянии z вдоль оси канала, установленного на расстоянии D от оси пучка дискового источника; C — постоянная.

Результаты преобразований по формуле, приведенной выше, представлены на рис. 5 (кривая 1) для каналов диаметрами 9,0 и 14,4 см по измерениям серными индикаторами. Изме-

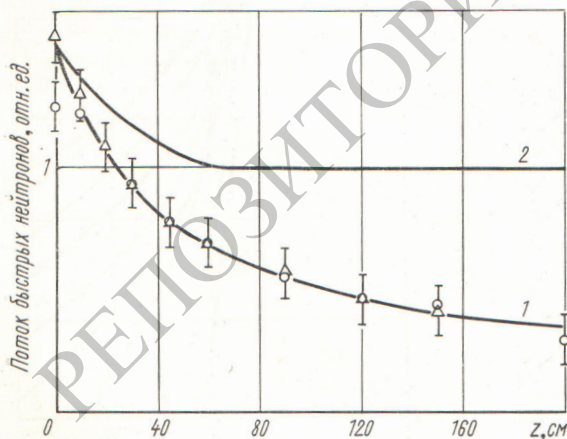


Рис. 5. Ослабление потока быстрых нейтронов вдоль прямых цилиндрических каналов диаметрами 9 (Δ) и 14,4 см (○) от бесконечного плоского источника:

1 — ослабление потока нейтронов от бесконечного плоского источника с угловой расходимостью $\sim 5^\circ$; 2 — ослабление потока нейтронов от бесконечного плоского мононаправленного источника.

рения алюминиевыми и серными индикаторами совпали с точностью до ошибок эксперимента. На рис. 5 (кривая 2) показаны те же распределения с введением соответствующей поправки на геометрическую расходимость пучка.

Полученные таким способом распределения быстрых нейтронов вдоль прямых цилиндрических каналов от мононаправленных источников показывают, что в отличие от аналогичных распределений от изотропных источников, где на всей длине канала происходит резкое уменьшение потока, для мононаправленных источников, начиная примерно с $\frac{z}{a} > 8$, с точностью до 15% не наблюдается изменения потока. Это свидетельствует о том, что на этих расстояниях основной вклад в полный поток быстрых нейтронов вносят нейтроны «прямой видимости», вошедшие через передний торец канала $\Phi_{\text{пр}}$. Следует отметить также, что и на меньших расстояниях от источника вклад от нейтронов «натекания» $\Phi_{\text{нат}}$, пришедших в канал через его стенку, не превышает 30—40% от $\Phi_{\text{пр}}$ в отличие от изотропных источников, где эта составляющая потока на расстояниях $\frac{z}{a} < 30$ может в несколько раз превосходить $\Phi_{\text{пр}}$ [3—5].

В заключение авторы выражают благодарность А. А. Гончаренко, П. И. Котикову, В. М. Сахарову и Ю. В. Харизоменову за помощь в проведении экспериментов и обработке данных.

Поступила в Редакцию 3/VIII 1965 г.
В окончательной редакции 29/XI 1965 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Simon, C. Clifford. Nucl. Sci. and Engng., 1, 103 (1956).
2. R. Schamberger et al. The Transmission of Neutrons and Gamma-Rays Through Air Slot. US AEC Report BNL-2019-2029 (1954).
3. F. Shore, R. Schamberger. The Transmission of Neutrons Through Duct in Water. US AEC Report BNL-390 (1956).
4. Reactor Handbook, Vol. III, Chapter 12, Editor Blizzard, N. Y., 1962.
5. Е. А. Крамер-Агеев и др. «Атомная энергия», 19, 46 (1965).
6. С. Г. Цыпин. В сб. «Вопросы физики защиты реакторов». Под ред. Д. Л. Бродера и др. М., Атомиздат, 1963, стр. 243.
7. А. И. Лейпунский и др. «Атомная энергия» 7, 193 (1959).
8. В. П. Машкович и др. В сб. «Вопросы физики защиты реакторов». Под ред. Д. Л. Бродера и др. М., Атомиздат, 1963, стр. 182.