

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ВЛИЯНИЯ ОТРАЖАТЕЛЯ НА ПРОСТРАНСТВЕННОЕ
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ
В ПОЛУБЕСКОНЕЧНОЙ СРЕДЕ
ОТ ИСТОЧНИКА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ**

Ю. П. ПАХОМОВ, Г. Ш. ПЕКАРСКИЙ, В. П. ШАБАЛИН

(Представлена научным семинаром научно-исследовательского института
электронной интроскопии)

В настоящее время широко применяются нейтронные методы в толщинометрии, дефектоскопии, при измерении влажности и в целом ряде геофизических задач. Источником информации в этих методах являются как прошедшее или отраженное излучение, так и продукты ядерных реакций. Естественно, что определяющее влияние на основные параметры метода (чувствительность, производительность, глубинность и т. п.) оказывает пространственное распределение нейтронов в исследуемом объекте. В свою очередь пространственное распределение нейтронов в среде определяется спектральным составом нейтронов, испускаемых источником, наличием отражателя, материалом и линейными размерами отражателя, а также химическим составом среды и ее плотностью. При этом использование отражателя дает возможность, во-первых, увеличить абсолютное значение потока тепловых нейтронов в исследуемом объекте, а во-вторых, изменением размеров и материала отражателя активно влиять на пространственное распределение нейтронов в нем с целью оптимизации параметров контроля.

Имеющиеся результаты теоретических исследований пространственного распределения тепловых нейтронов от источника быстрых нейтронов получены для частных случаев точечного и плоского источников в бесконечной среде [1, 2]. Для отражателя конечных размеров, пространства между отражателем и исследуемой средой и источника со сплошным спектром нейтронов аналитическое решение уравнения переноса нейтронов невозможно, а метод статистических испытаний (метод Монте-Карло) довольно сложен и требует большого объема вычислений (в особенности на больших расстояниях от источника). Определенные преимущества в этом случае имеют экспериментальные исследования, поэтому нами проводилось экспериментальное определение влияния размеров и материала отражателя на пространственное распределение тепловых нейтронов в полубесконечной среде.

Измерение потока тепловых нейтронов проводилось методом радиоактивных индикаторов. В качестве детектора тепловых нейтронов использовались индиевые фольги толщиной 100 мг/см². Для устранения влияния активации индиевых фольг эпитепловыми нейтронами на измерение потока тепловых нейтронов использовался метод кадмиевой разности. Индиевые фольги облучались дважды в одной точке с экраном из кадмия и без него. Толщина кадмиевого экрана составляла 0,5 мм.

Поток тепловых нейтронов вычислялся по формуле [3]

$$\Phi = \frac{\tau e^{\lambda t_2}}{k \cdot \Sigma_{\text{act}} \cdot V (1 - e^{-\lambda t_1})} (n - F_{\text{cd}} \cdot n_{\text{cd}}) \left[\frac{1}{\text{см}^2 \text{ мин}} \right],$$

где Σ_{act} — макроскопическое сечение активации In^{115} , см^{-1} ;

V — объем фольги, см^3 ;

t_1 — время облучения фольги, мин;

t_2 — время выдержки фольги, мин;

n и n_{id} — скорости счета индиевой фольги без экрана из кадмия и с экраном соответственно (за вычетом фона), мин^{-1} ;

F_{cd} — поправка на поглощение резонансных нейтронов в кадмии;

τ — поправка на время измерения;

k — коэффициент, характеризующий эффективность регистрации β -излучения.

В работе использовался Pu-Be источник с выходом $4 \cdot 10^6$ н/сек, отражатели из парафина и графита. Закономерности влияния линейных размеров отражателя на пространственное распределение тепловых нейтронов исследовались для отражателя из парафина. В качестве исследуемой среды использовался полубесконечный объем песка. Влажность во время измерений поддерживалась постоянной и равной 2,7 процента.

Геометрия измерений представлена на рис. 1. На рис. 2 и 3 представлены распределения тепловых нейтронов по радиусу и глубине соответственно.

Из полученных результатов следует, что использование отражателя дает возможность:

1. Увеличить поток тепловых нейтронов на глубинах до 10 см более чем в 10 раз, а на глубинах свыше 10 см в 2—3 раза по сравнению с потоком тепловых нейтронов от источника без отражателя.

2. Активно влиять на распределение тепловых нейтронов по глубине и получать нужный характер распределения. Так, источник без отражателя создает поле тепловых нейтронов с максимумом на глубине 20÷30 см. Использование отражателя из графита с линейными размерами, соизмеримыми с размерами отражателя из парафина, позволяет сдвинуть максимум в область меньших глубин порядка 10 см. Применение водородсодержащего отражателя (с линейными размерами не меньше одной длины замедления) приводит к максимуму потока тепловых нейтронов на поверхности среды. Возможно также получение равномерного распределения до глубины ~ 40 см без ярко выраженного максимума (геометрия 3, рис. 1).

3. Получить некоторую «фокусировку» потока тепловых нейтронов в сравнении с источником без отражателя. Иллюстрацией являются данные рис. 4, где представлены зависимости числа нейтронов N , пересекающих площадку радиуса r , от радиуса этой площадки.

При оценке погрешности измерений было установлено, что основной вклад в ошибку измерения абсолютного значения потока вносят: статистическая погрешность, погрешность в определении объема фольги и погрешность, связанная с учетом поглощения, обратного рассеяния и самопоглощения β -излучения в индиевых фольгах. Наибольшая погрешность абсолютных измерений составила в эксперименте 40%.

Сравнение полученных экспериментальных результатов с результатами расчета методом Монте-Карло [4] свидетельствует о том, что в пределах точности эксперимента и статистической точности расчета наблюдается достаточное соответствие. Результаты сравнения приведены в табл. 1.

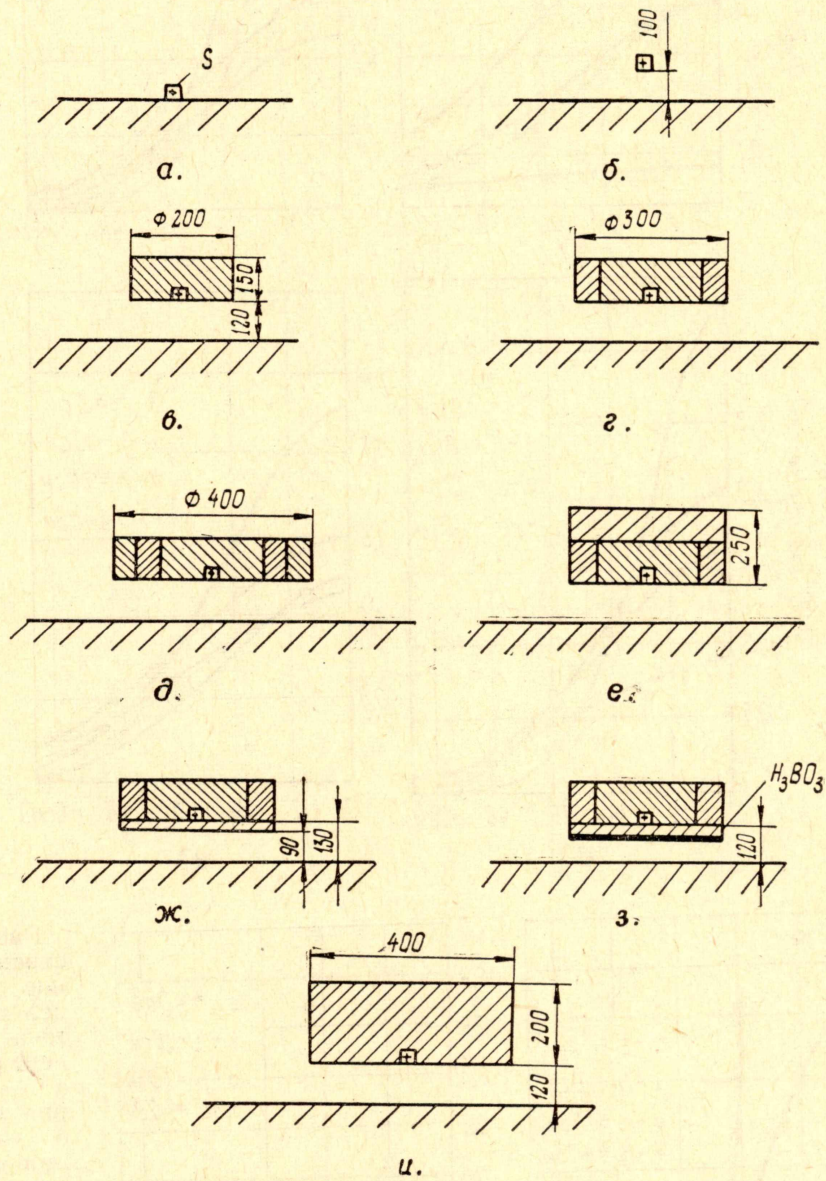


Рис. 1. Геометрия эксперимента: S — источник быстрых нейтронов, в÷з — отражатели из парафина, и — отражатель из графита.

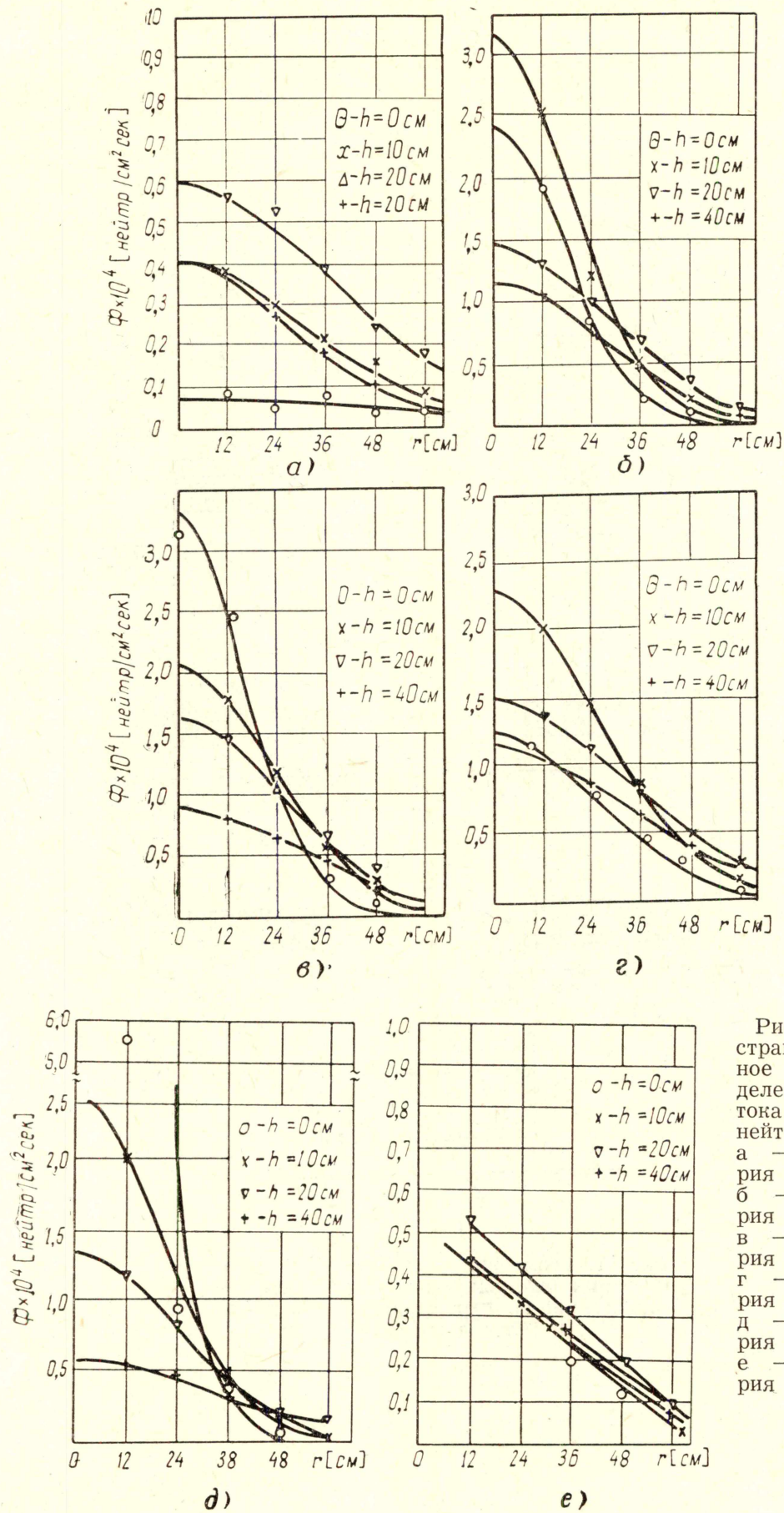


Рис. 2. Пространственное распределение потока тепловых нейтронов: а — геометрия б, рис. 1; б — геометрия в, рис. 1; в — геометрия г, рис. 1; г — геометрия и, рис. 1; д — геометрия ж, рис. 1; е — геометрия з, рис. 1.

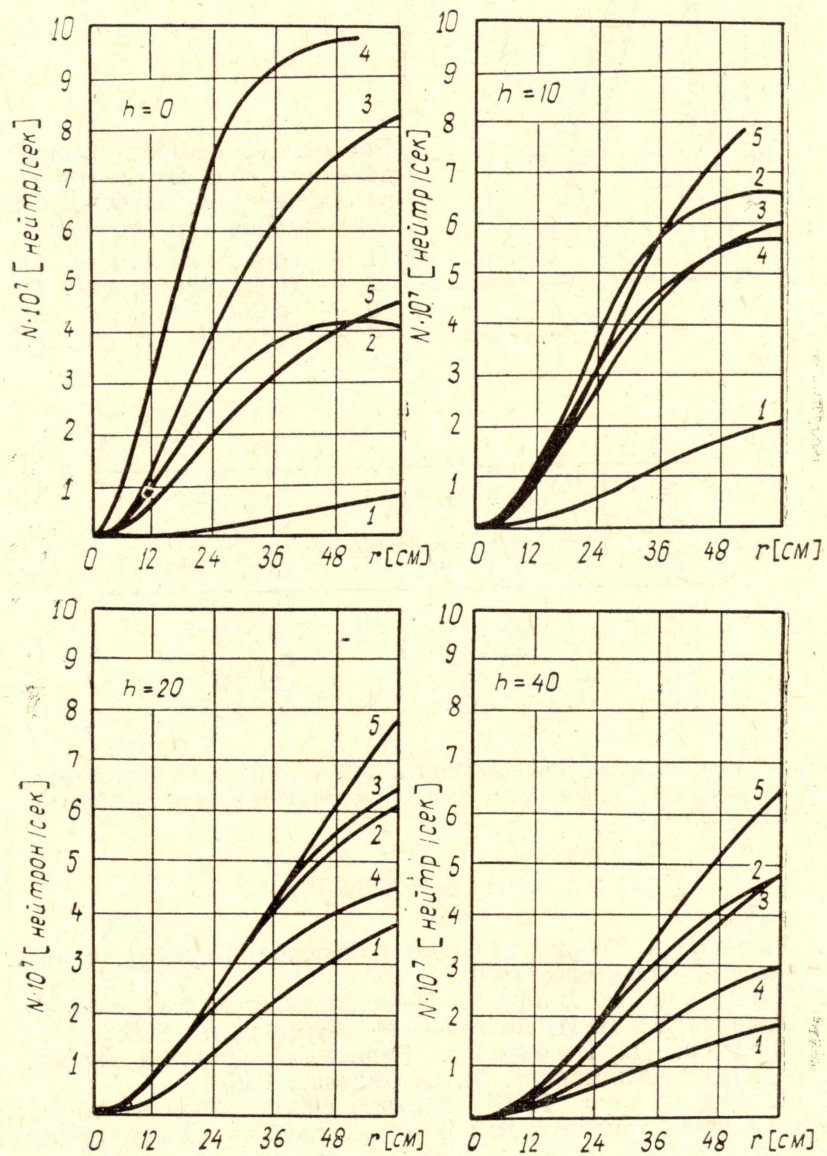


Рис. 3

Рис. 3. Число нейтронов через площадку радиуса r : 1 — источник без отражателя (а, рис. 1); 2 — отражатель парафиновый (в, рис. 1); 3 — отражатель парафиновый (2, рис. 1); 4 — отражатель парафиновый (ж, рис. 1); 5 — отражатель парафиновый (и, рис. 1).

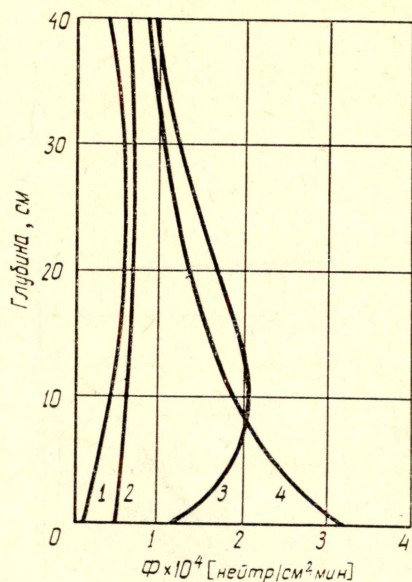


Рис. 4. Зависимость распределения тепловых нейтронов по глубине от материала и размеров отражателя:

- 1 — геометрия б, рис. 1;
- 2 — геометрия з, рис. 1;
- 3 — геометрия и, рис. 1;
- 4 — геометрия г, рис. 1.

Т а б л и ц а 1
г=0 см

Глубина h , см	Эксперимент	Расчет
	т. н. ($\text{см}^2 \cdot \text{сек}$)	т. н. ($\text{см}^2 \cdot \text{сек}$)
0	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$
10	$7,9 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-5}$
20	$6,2 \cdot 10^{-5}$	$5,2 \cdot 10^{-5}$
30	$4,7 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$

Сравнение результатов экспериментального определения потока (геометрия в, рис. 1) и расчета методом Монте-Карло кривая 2, рис. 1 в работе [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Дэвисон. Теория переноса нейтронов. Перевод с англ. Под ред. Г. И. Марчука. М., Атомиздат, 1960.
2. К. Бекурц, К. Виртц. Нейтронная физика. Перевод с англ. Под ред. Л. А. Микаэляна и В. И. Лебедева. М., Атомиздат, 1968.
3. Г. Боуэн, Д. Гиббонс. Радиоаквационный анализ. Перевод с англ. Под ред. И. П. Алимарина. М., Атомиздат, 1968.
4. П. Ю. Пахомов, Г. Ш. Пекарский. Расчет методом Монте-Карло распределения тепловых нейтронов в полубесконечной среде от точечного изотропного источника с отражателем. Настоящий сборник.