

Преимущество поверки нейтронных дозиметров в условиях коллимированной геометрии перед условиями открытой геометрии

Рассмотрен вклад рассеянных нейтронов из радионуклидных источников нейтронов в значение эквивалентов доз. Проведены теоретические оценки вклада в значения величин амбиентного эквивалента дозы рассеянного нейтронного излучения при различных условиях применения источников нейтронов. Показаны влияния в значение амбиентного эквивалента дозы нейтронного излучения размера, материала и толщины стен помещения в условиях "открытой геометрии" и коллимированного пучка нейтронов. Плотность материала стен, расстояние между источником и стенами и условие размещения поверочной установки в помещении также влияют на значение амбиентного эквивалента дозы нейтронов. Для целей поверки средств измерений нейтронного излучения рекомендовано использовать установки с контейнером-коллиматором.

Ключевые слова: поверка установок нейтронного излучения, радионуклидные нейтронные источники, поля нейтронного излучения, коллимированное поле нейтронного излучения.

П.Ф.Масляев (Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, п.Менделеево, Московская обл.)

Под условиями «открытой геометрии» (ОГ) принято понимать ситуацию, когда в поле излучения около источника нейтронов отсутствуют рассеивающие объекты, а условиями «коллимированной» (КОЛ) геометрии принято называть условия, когда источник нейтронов размещается в контейнере-коллиматоре.

Измеряемую величину H_R (плотность потока нейтронов (ПП), амбиентный эквивалент дозы (АЭД) и др.) можно определить, используя ОГ или геометрию КОЛ, по формуле [1]:

$$H_R = H_{100} \cdot \left(\frac{100}{R}\right)^2 \cdot K_{HR} \cdot V \cdot e^{-\mu(R-100)} \cdot e^{-\frac{t}{T_0}}, \quad (1)$$

где H_{100} – значение измеряемой величины на расстоянии 100 см; R – расстояние в см от источника до чувствительного центра средства измерений; K_{HR} – коэффициент, учитывающий вклад в значение измеряемой величины рассеянного стенами излучения; V – фактор накопления в воздухе; μ – коэффициент ослабления воздухом на расстоянии R в см; T_0 – период полураспада нейтронного источника (как правило, в месяцах или годах); t – время, прошедшее с даты поверки установки (в тех же единицах, что и T_0).

В случае «открытой геометрии» H_R и H_{100} определяются как разность результатов измерений без конуса и с конусом.

Рассеянное излучение в ОГ, возникающее в помещении (за счет стен и воздуха) при этом учитывается с использованием двух измерений: с поглощающим первичное излучение конусом и без поглощающего конуса, т.е. необходимо проводить два измерения. Однако за счет экранирования части помещения поглощающим конусом рассеянное излучение учесть полностью таким образом не удастся.

На рис.1 и 2 показаны результаты расчета методом Монте-Карло АЭД в помещении размером $900 \times 600 \times 350$ см со стенами толщиной 40 см из бетона плотностью 2 г/см^3 с усеченным конусом (угол между центральной

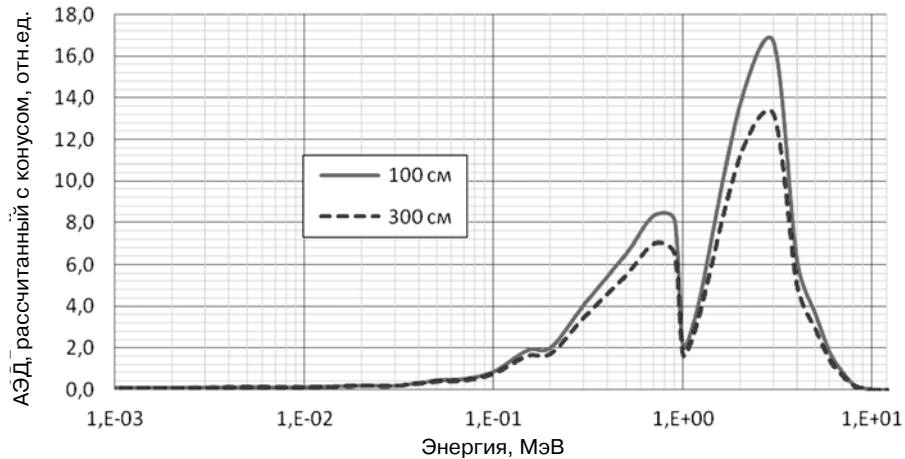


Рис.1. Зависимость АЭД, рассчитанной методом Монте-Карло (условия ОГ с конусом), от энергии нейтронов на разных расстояниях от источника нейтронов.

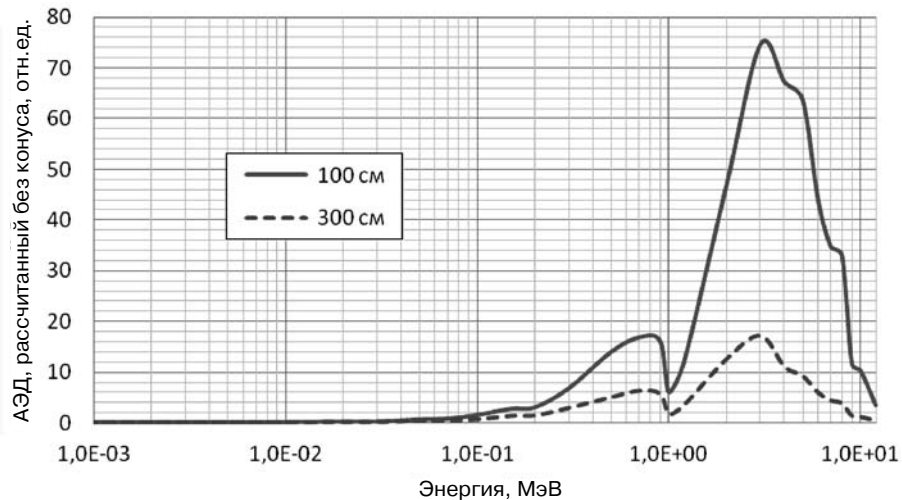


Рис.2. Зависимость АЭД, рассчитанной методом Монте-Карло (условия ОГ без конуса), от энергии нейтронов на разных расстояниях от источника нейтронов.

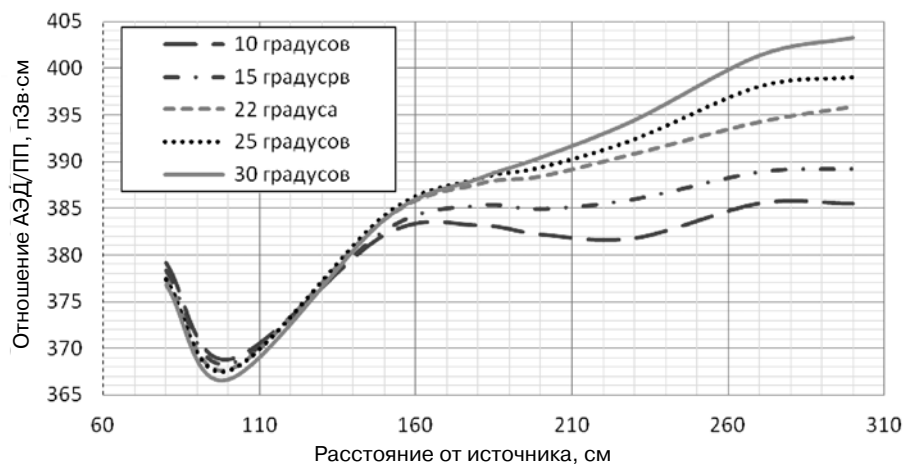


Рис.3. Зависимость отношений АЭД к ПП от расстояния от источника в помещении размером 1500×1500×1500 см (источник находится в 200 см от стены) для углов между центральной осью симметрии и образующей конуса 10, 15, 22, 25 и 30 градусов.

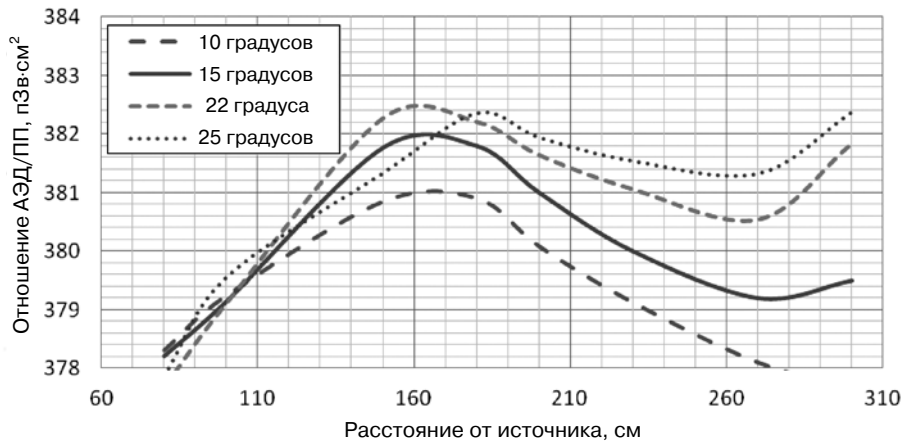


Рис.4. Зависимость отношений АЭД к ПП от расстояния от источника в помещении размером 1500×1500×1500 см (источник находится в центре помещения) для углов между центральной осью симметрии и образующей конуса 10, 15, 22 и 25 градусов.

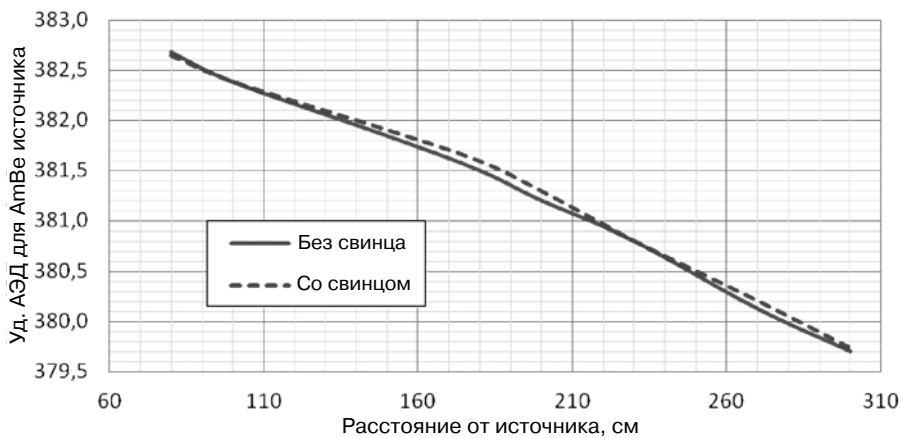


Рис.5. Зависимость АЭД источника AmBe от расстояния от источника.

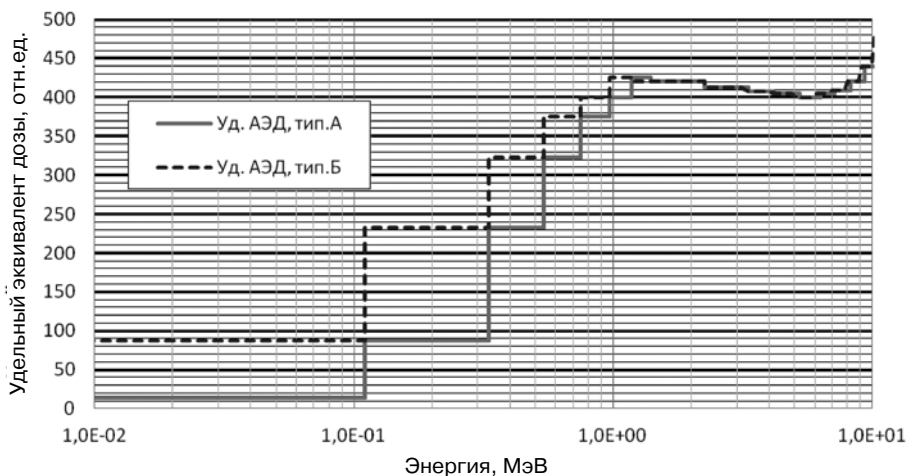


Рис.6. Вид гистограмм для удельного значения АЭД.

ось симметрии и образующей конуса 22 градуса), изготовленным из железа 20 см и 30 см из полиэтилена с 5 % бора 30 см, и

без конуса на расстоянии 100 и 300 см от источника.

На рис.1 и 2 видно, что АЭД с конусом составляет 18,2 % на рас-

стоянии 100 см и 71,5 % на расстоянии 300 см от нейтронного источника.

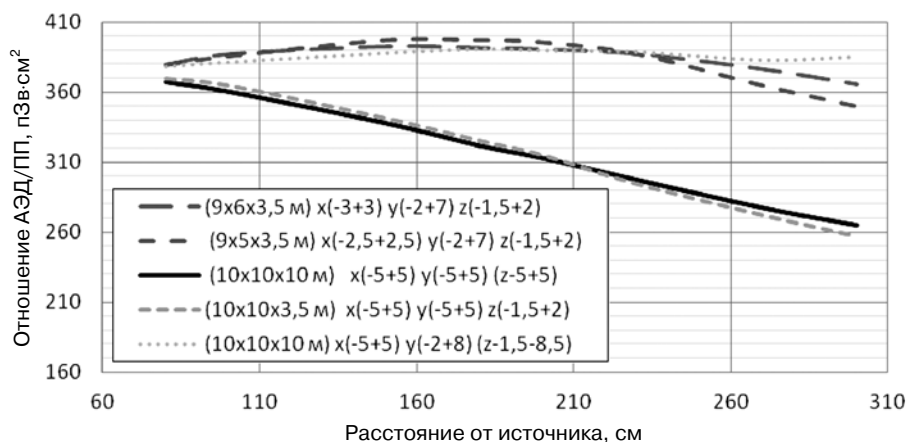


Рис. 7. Зависимость отношений АЭД к ПП от расстояния от источника в условиях ОГ при различных размерах помещений и при разных положениях источника.

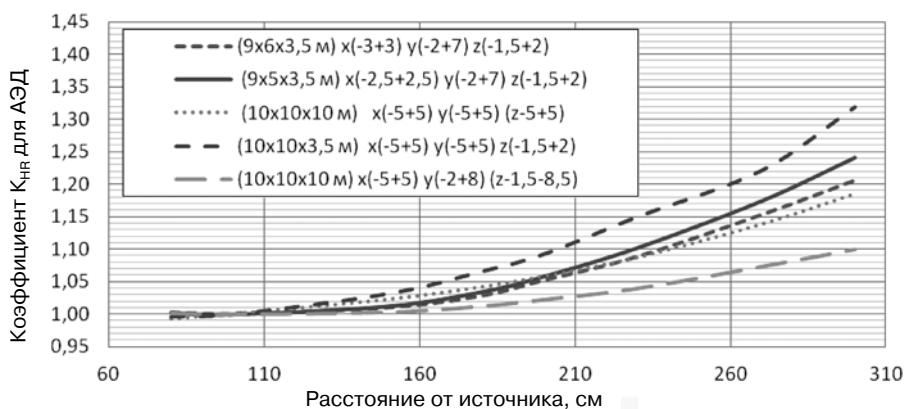


Рис. 8. Зависимость коэффициентов $K_{нр}$ от расстояния от источника для расчета АЭД на расстоянии R относительно значения АЭД на расстоянии 100 см в условиях ОГ при разных размерах помещения и при разных положениях источника.

Значение АЭД, полученное при измерениях в условиях ОГ, зависит от размеров помещения, положения источника в помещении и угла между центральной осью симметрии конуса и образующей, как это видно на рис. 3 и 4.

В стандарте ISO 8529-2 [2] рекомендуется использовать усеченный конус длиной 50 см из двух материалов: 20 см железа со стороны источника и 30 см из полиэтилена с 5 % бора. Угол между центральной осью симметрии и образующей конуса, а также диаметр сечений усеченного конуса устанавливается в зависимости от размеров блока детектирования, что является неприемлемым при поверке (калибровке) средств измерений, когда блоки детектирования оказываются разных размеров.

В стандарте ISO 8529-1 [3] рекомендуется использовать коэффициент перехода от единичного флюенса нейтронов для AmBe источника, помещенного в дополнительную ампулу из свинца с толщиной стенки 1 мм, к ambientному эквиваленту дозы, равному 391 пЗв·см². Как видно на рис.5, свинец толщиной 1 мм очень мало изменяет значение АЭД.

Коэффициент перехода от единичного флюенса нейтронов для AmBe источника можно рас-

считать, используя приведенную в публикации [4] зависимость АЭД от дифференциального флюенса нейтронов и энергетический спектр нейтронов AmBe источника. В табл.1 приведены результаты расчетов АЭД на единичный флюенс нейтронов AmBe источника при различных видах интерполяции и различных представлениях зависимости АЭД от дифференциального флюенса нейтронов.

Вид гистограмм показан на рис.6.

Табл. 1.

Величина, пЗв·см ²	Расчет без стен и воздуха (вид интерполяции)				Гистограмма	
	log-log	lin-log	log-lin	lin-lin	Тип А	Тип Б
АЭД	380,58	380,42	380,57	380,73	399	409
Средний АЭД	380,57				404	

Как видно из табл.1, значение коэффициента перехода, приведенного в стандарте ISO 8529-1, отличается от коэффициента перехода, полученного расчетным путем при различных видах интерполяции.

Коэффициент перехода от единичного флюенса нейтронов для Am^{241} источника не может быть постоянным и зависит от размеров помещения, положения источника в помещении, толщины стен помещения, размеров конуса и расстояния от источника.

На рис.7 показана зависимость коэффициента перехода от расстояния от источника в условиях ОГ при различных размерах помещений и при разных положе-

ниях источника. Размеры помещения и положения стен относительно источника определяются координатами в скобках, указанными на рисунке в легенде, в метрах.

На рис.8 показана зависимость коэффициентов K_{HR} для расчета АЭД на расстоянии R относительно значения АЭД на расстоянии 100 см в условиях ОГ в помещениях разного размера.

На рис. 9 показана зависимость коэффициентов K_{HR} от расстояния от источника для расчета АЭД на расстоянии R относительно значения K_{HR} на расстоянии 100 см в условиях КОЛ.

На рис. 7, 8, 9, а также 15, 16 и 17 в легендах используются сле-

дующие обозначения: размер помещения в метрах; положение стен по осям X, Y и Z относительно источника указаны в скобках.

Как видно на рис. 8 и 9, для получения значений ПП и АЭД на расстоянии R от источника следует рассчитать коэффициенты K_{HR} как для ОГ, так и для геометрии КОЛ, с учетом размеров помещения, положения источника и толщины стен помещений.

На рис. 10, 11, 12, 13 и 14 приведены сравнения коэффициентов K_{HR} для ПП и АЭД для разных геометрий облучения. На рисунках видно, что для коэффициентов K_{HR} различия для ПП и АЭД значительны и их следует рассчитывать. Наиболее подходящим

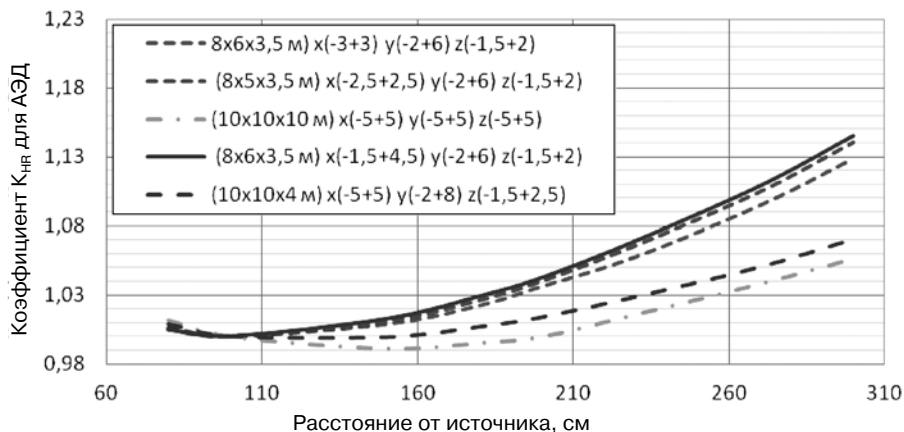


Рис.9. Зависимость коэффициентов K_{HR} для расчета АЭД на расстоянии R относительно значения K_{HR} на расстоянии 100 см в условиях КОЛ.

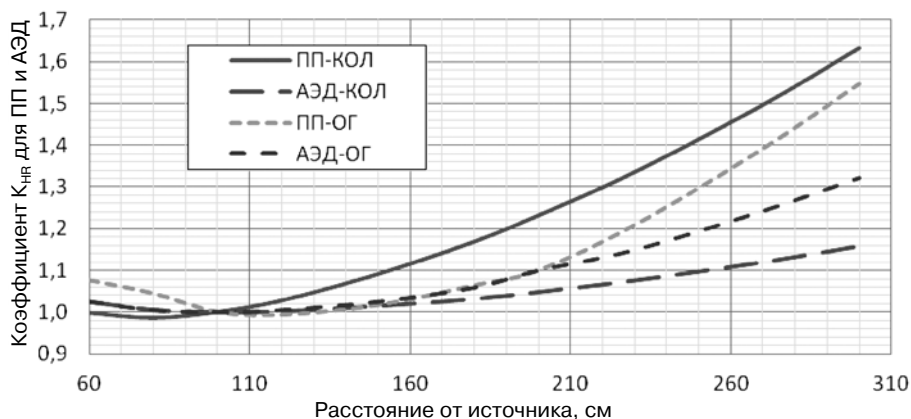


Рис.10. Зависимость коэффициентов K_{HR} от расстояния от источника для плотности потока нейтронов ПП и АЭД для помещения размером $800 \times 500 \times 300$ см со стенками из бетона с плотностью 2 г/см^3 толщиной 40 см в условиях ОГ и геометрии КОЛ.

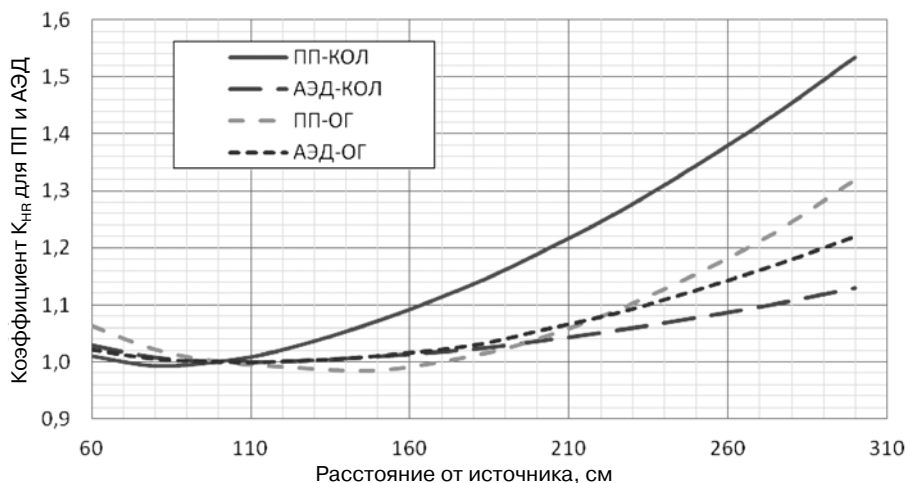


Рис. 11. Зависимость коэффициентов $K_{нр}$ от расстояния от источника для ПП и АЭД для помещения размером 800×600×300 см со стенками из бетона с плотностью 2 г/см³ толщиной 40 см в условиях ОГ и геометрии КОЛ.

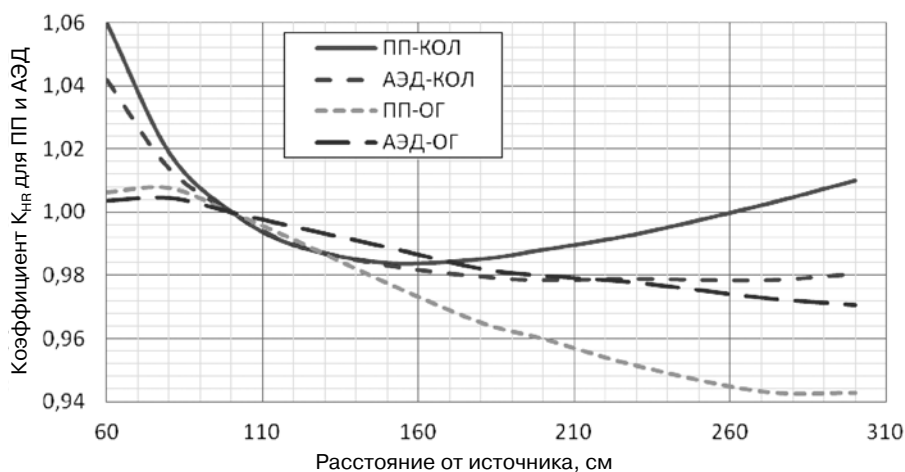


Рис. 12. Зависимость коэффициентов $K_{нр}$ от расстояния от источника для ПП и АЭД для помещения размером 1500×1000×400 см со стенками из бетона с плотностью 2 г/см³ толщиной 40 см в условиях ОГ и геометрии КОЛ.

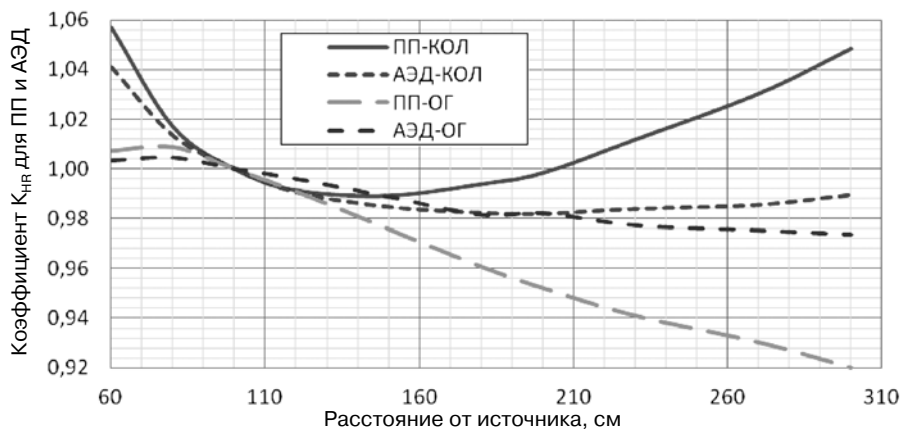


Рис. 13. Зависимость коэффициентов $K_{нр}$ от расстояния до источника для ПП и АЭД для помещения размером 1500×1500×1500 см со стенками из бетона с плотностью 2 г/см³ толщиной 40 см в условиях ОГ и геометрии КОЛ.

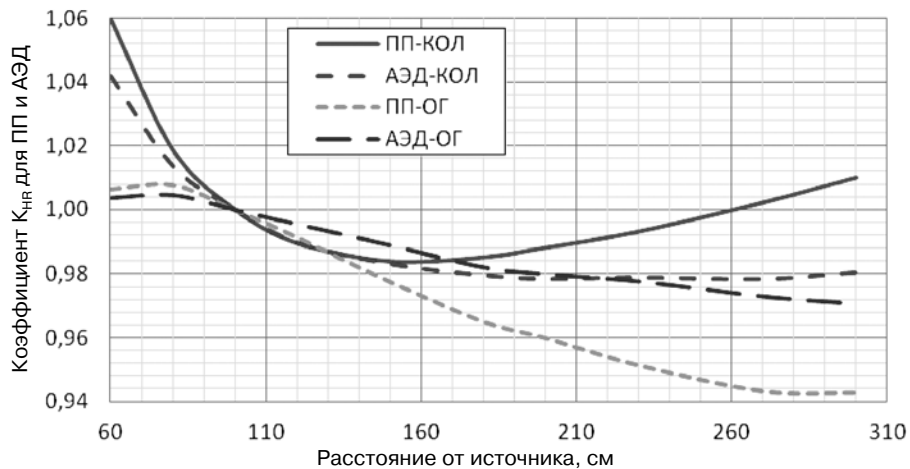


Рис. 14. Зависимость коэффициентов K_{HR} от расстояния от источника для ПП и АЭД для помещения размером $2000 \times 2000 \times 2000$ см со стенками из бетона с плотностью 2 г/см^3 толщиной 40 см в условиях ОГ и геометрии КОЛ.

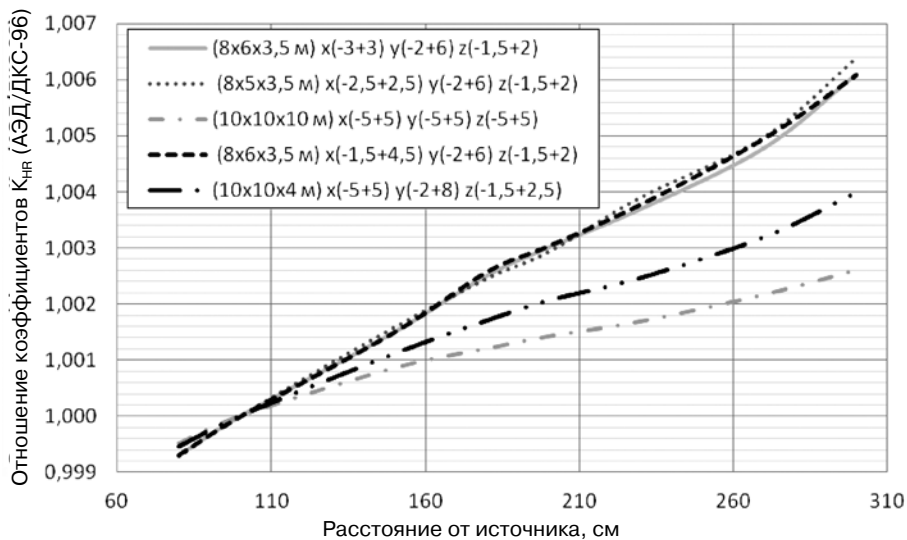


Рис. 15. Зависимость отношений коэффициентов K_{HR} для АЭД и показаний дозиметра-радиометра ДКС-96 с блоком детектирования БДМН-96 для различных помещений со стенками из бетона с плотностью 2 г/см^3 толщиной 40 см в условиях геометрии КОЛ.

для этого является метод Монте-Карло. Учитывая, что в случае ОГ время измерений увеличивается более чем в два раза, геометрия КОЛ имеет существенное преимущество.

На рис.15 и 16 приведены отношения коэффициентов K_{HR} для некоторых величин и блоков детектирования в помещениях разных размеров. В случае использования блока детектирования БДМН-96 различия коэффициентов K_{HR} для АЭД и БДМН-96 не превышают 0,7 %, а в случае использования блока детектирова-

ния с замедлителем диаметром 150 мм различия коэффициентов K_{HR} для ПП и блока детектирования с замедлителем диаметром 150 мм не превышают 1,2 % для помещений различных размеров.

На рис.17 показаны отношения коэффициентов K_{HR} для средства измерений на основе ДКС-96 с блоком детектирования БДМН-96 и для ДКС-96 с замедлителем из полиэтилена диаметром 70 мм, окруженным кадмием толщиной 1 мм. Результаты, приведенные на рис.17, полезны для проверки расчетов указанных от-

ношений. Измерения рекомендуется проводить на расстояниях от источника 100, 150 и 200 мм.

Выводы.

1. Анализ полученных результатов показывает, что поверка средств измерений эквивалента дозы в условиях коллимированной геометрии приводит к существенному (более чем в 2 раза) сокращению времени поверки при одинаковом значении погрешности поверки.

2. При использовании открытой геометрии и коллимирован-

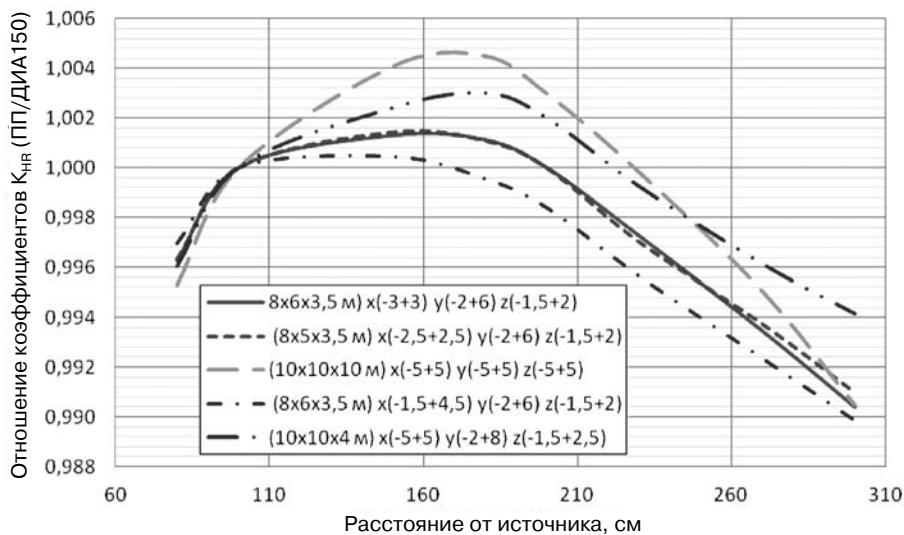


Рис. 16. Зависимость отношений коэффициентов $K_{нр}$ для ПП и показаний дозиметра-радиометра ДКС-96 с блоком детектирования с замедлителем диаметром 150 мм для различных помещений со стенками из бетона с плотностью 2 г/см^3 толщиной 40 см в условиях геометрии КОЛ.

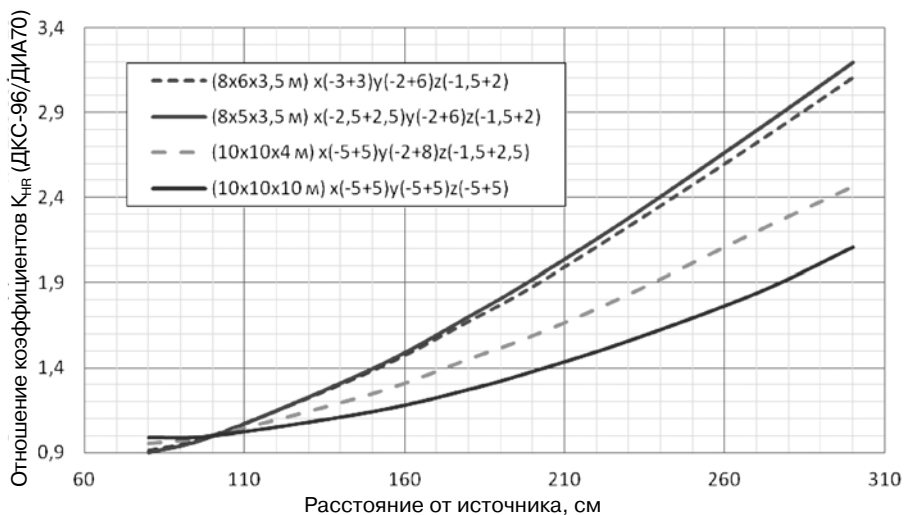


Рис. 17. Зависимость отношений коэффициентов $K_{нр}$ от расстояния от источника для показаний средств измерений на основе ДКС-96 с блоком детектирования БДМН-96 и замедлителем из полиэтилена диаметром 70 мм.

ной геометрии и использовании рекомендаций по значениям эквивалента дозы на единичный энергетический флюенс нейтронов [4], необходимо проводить расчеты методом Монте-Карло реального спектра нейтронов с учетом рассеянного излучения.

3. Использование коэффициента перехода от плотности потока нейтронов к амбиентному эквиваленту дозы для AmBe источника, рекомендованного в стандарте ISO 8529-1 [3], при поверке установки для поверки дозиметров с источником нейтро-

нов, размещенным в контейнере-коллиматоре, может привести к значительной погрешности.

Литература

1. П.Ф.Масляев, Учет влияющих факторов при поверке установок с радионуклидными источниками нейтронного излучения. АНРИ №2(85), 2016. С.2-9.
2. ICRU Report 57, Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation, 1997.

Advantages of Using Collimated Geometry Compared to Open Geometry for Calibration of Neutron Dosimeters

Maslyayev Peter (The All-Russia scientific research institute physicotchnical and radio engineering measurements, Mendeleevo, Russia)

Abstract. The data on relative contribution of scattered neutrons from radionuclide sources into the dose equivalent are presented. Theoretical estimates of scattered neutron radiation contribution to the values of ambient dose equivalent are obtained for different conditions of using neutron sources. The influence of size, material and thickness of the room walls on the ambient dose equivalent of neutron radiation is described, separately for open geometry and collimated neutron beam geometry. Wall material density, source to wall distances and conditions of calibration unit placement also affect the ambient dose equivalent of neutrons. For calibration of neutron radiation measurement instruments it is recommended to use calibration units equipped with collimator.

Key words: *calibration of installations of neutron radiation, radionuclide neutron, sources, fields of neutron radiation, collimated field of neutron radiation.*

П.Ф.Масляев (к.т.н., с.н.с., нач.лаб.) – Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, п.Менделеево, Московская обл.

Контакты: тел.: +7 (495) 660-17-44; e-mail: maslyayev@vniiftri.org.