

P16-2017-74

Ю. В. Мокров^{1,2,*}, С. В. Морозова¹, Г. Н. Тимошенко^{1,2},
В. А. Крылов¹, О. Б. Бадун¹, Г. А. Сейлханова^{1,2}

**КОРРЕКЦИЯ ПОКАЗАНИЙ АЛЬБЕДНОГО ДОЗИМЕТРА
НЕЙТРОНОВ ДВГН-01 РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ
ЗА ЗАЩИТОЙ ИБР-2М**

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

² Государственный университет «Дубна», Дубна, Россия

* E-mail: mokrov@jinr.ru

Мокров Ю. В. и др.

P16-2017-74

Коррекция показаний альбедного дозиметра нейтронов ДВГН-01 различными методами за защитой ИБР-2М

В работе представлены результаты коррекции показаний альбедных дозиметров ДВГН-01 за защитой ИБР-2М ЛНФ различными методами. Измерены спектры нейтронов в двух точках за защитой ИБР-2М в экспериментальных залах, и проведены измерения с шаровой альбедной системой в этих точках. Рассчитаны по измеренным спектрам и по показаниям шаровой альбедной системы поправочные коэффициенты для ДВГН-01. Показано хорошее согласие коэффициентов, рассчитанных разными методами, что говорит о достоверности полученных значений.

На основании результатов этой работы и данных, приведенных в других работах, рекомендованы значения поправочных коэффициентов для использования в индивидуальном дозиметрическом контроле в ЛНФ.

Работа выполнена в Лаборатории радиационной биологии ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2017

Mokrov Yu. V. et al.

P16-2017-74

The Correction of Albedo Dosimeters Readout at IBR-2M with the Help of a Spherical Albedo System and Comparison with Other Correction Methods

The results of the indication correction for albedo dosimeters DVGН-01 using a spherical albedo system and of neutron spectra are presented. The measurements were carried out behind the IBR-2M shielding. The neutron spectra were measured in two places and the correction coefficients for DVGН-01 readout were estimated by these spectra. A good agreement was shown for the coefficients obtained with the help of these spectra and by the method of spherical albedo system. This is a real evidence of the correction method reliability.

On the basis of the present results the correction coefficients were recommended for individual radiation control at FLNP, JINR.

The investigation has been performed at the Laboratory of Radiation Biology, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2017

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с «Нормами радиационной безопасности 99/2009» при работе персонала в полях ионизирующего излучения должен проводиться радиационный контроль [1]. Радиационный контроль подразделяется на индивидуальный дозиметрический контроль (ИДК) и дозиметрический контроль рабочих мест (ДКРМ). ИДК проводится с целью определения степени радиационного риска при профессиональном облучении, возможностей его снижения и предупреждения переоблучения персонала. Он осуществляется с помощью индивидуальных дозиметров, которые носятся на теле персонала (как правило, в нагрудном кармане спецодежды). По данным ИДК определяются дозы облучения в миллизивертах, полученные конкретным работником.

Одной из основных характеристик дозиметров нейтронного излучения является их энергетическая зависимость чувствительности (ЭЗЧ). ЭЗЧ идеального индивидуального дозиметра нейтронов должна быть подобна энергетической зависимости индивидуального эквивалента дозы на глубине 10 мм на единичный флюенс нейтронов. Эта величина часто называется удельным индивидуальным эквивалентом дозы и обозначается как $h_p(10)$.

Энергетическая зависимость удельного индивидуального эквивалента дозы нейтронов для фантома в виде плоской тканезквивалентной пластины, имитирующего тело человека, при перпендикулярном падении нейтронов на ее поверхность, представлена на рис. 1.

В настоящее время одним из наиболее распространенных методов индивидуальной дозиметрии нейтронного излучения является альбедный метод. Он основан на регистрации отраженных и выходящих из тела человека тепловых нейтронов дозиметром, находящимся на поверхности тела. На основе альбедных дозиметров создано несколько зарубежных и отечественных комплексов для ИДК, основными элементами которых являются индивидуальные дозиметры и считыватели их показаний. Одними из них являются комплексы АКЖДК-301 и АКЖДК-302 с дозиметрами ДВГН-01, выпускаемые Ангарским приборным заводом [2]. ЭЗЧ альбедного дозиметра нейтронов

ДВГН-01 для различных геометрий облучения, изотропного (ISO, ИЗО) и передне-заднего (АР, ПЗ), и видов фантомов представлена на рис. 2 [3].

Из сопоставления рис. 1 и 2 видно, что ЭЗЧ дозиметра ДВГН-01 существенно отличается от требуемой зависимости. Вследствие этого возникает различие между показаниями дозиметра и истинным значением дозы нейтронов и требуется введение коррекции в показания ДВГН-01 с помощью поправочных коэффициентов. Существует два основных метода коррекции показаний альбедных дозиметров: расчетный метод [3,4] с использованием известных спектров нейтронов и ЭЗЧ дозиметра и экспериментальный с ис-

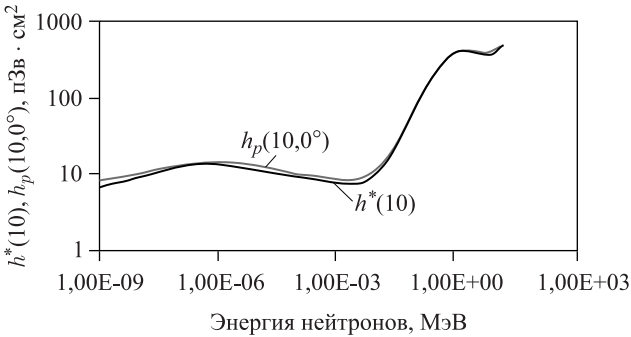


Рис. 1. Зависимость индивидуального и амбиентного эквивалентов дозы на единичный флюенс нейтронов от энергии

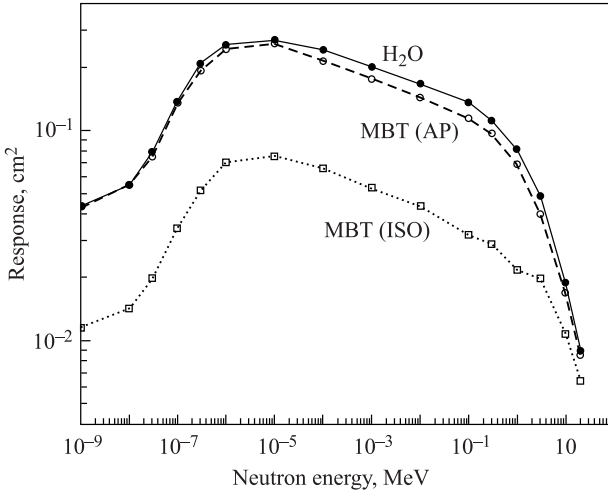


Рис. 2. ЭЗЧ альбедного дозиметра ДВГН-01 [3]

пользованием шаровой альбедной системы [5, 6]. В данной работе использованы оба этих метода: определение спектров нейтронов и расчеты по ним поправочных коэффициентов; выполнение измерений с помощью шаровой альбедной системы. Проведено сравнение поправочных коэффициентов, полученных этими методами.

1. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗАЛАХ 1 И 2 ИБР-2М

Измерения проводились в двух экспериментальных залах реактора ИБР-2М: в точке 1 в зале №2 и в точке 2 в зале №1. На рис.3 показан план экспериментальных залов и точки измерений в них. На рис.4 в качестве примера представлено изображение места измерений в точке 1.

В точках 1 и 2 проводилось измерение спектров нейтронов с помощью портативного многошарового спектрометра. Детектором тепловых нейтронов спектрометра является сцинтилятор $\text{LiI}(\text{Eu})$ размером $\varnothing 4,3 \times 4$ мм, обогащенный ${}^6\text{Li}$ до 90%. В качестве замедлителей использовался набор полиэтиленовых сфер диаметрами 2, 3, 5, 8, 10, 12 дюймов, а также проводились измерения с детектором без замедлителя и с детектором в кадмиевом чехле. Мониторинг поля нейтронов осуществлялся с помощью ${}^3\text{He}$ -счетчика в цилиндрическом полиэтиленовом замедлителе. Восстановление

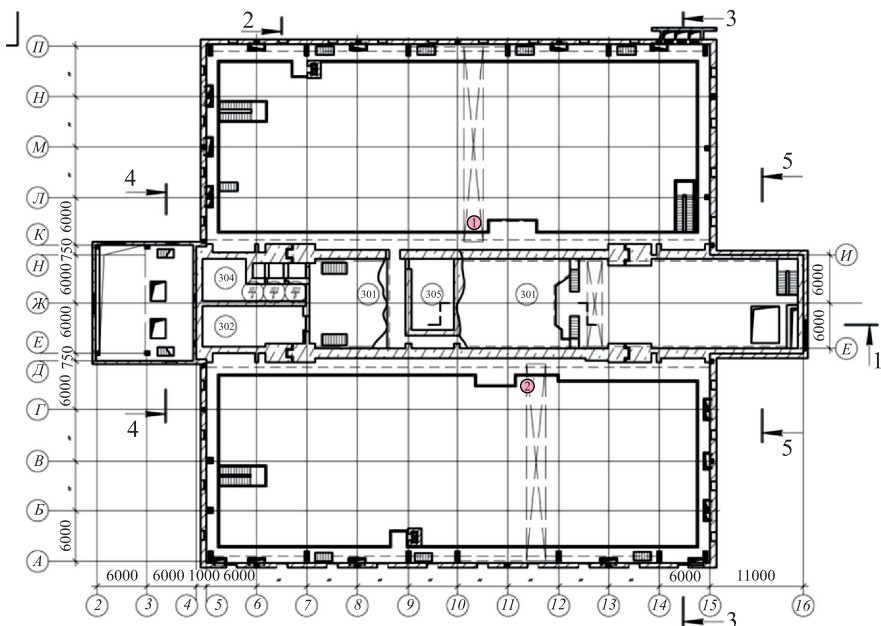


Рис. 3. План экспериментальных залов ИБР-2М и точки измерений



Рис. 4. Место измерений в точке 1 экспериментального зала №2

спектра, т.е. решение обратной задачи, основано на методе статистической регуляризации. Программа реализует алгоритм численного решения системы алгебраизированных уравнений:

$$N_i = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \Phi(E) R_i(E) dE, \quad i = 1, \dots, m. \quad (1)$$

Здесь E_{\max} , E_{\min} — границы энергетического спектра $\Phi(E)$; $R_i(E)$ — функция чувствительности спектрометра с замедлителем i -го диаметра (имп. · нейтрон⁻¹ · см² · МэВ); N_i — показания спектрометра (скорость счета, имп. · с⁻¹). При восстановлении спектров использовались априорная информация для гладкости искомого спектра $\Phi(E)$ и ограничение спектра сверху энергией 20 МэВ.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И РАСЧЕТОВ

На рис. 5 показаны восстановленные спектры нейтронов в точках 1 (канал №3) и 2 (канал №11). Средняя энергия спектра в точке 1 равна 218 кэВ, в точке 2 она составляет 129 кэВ.

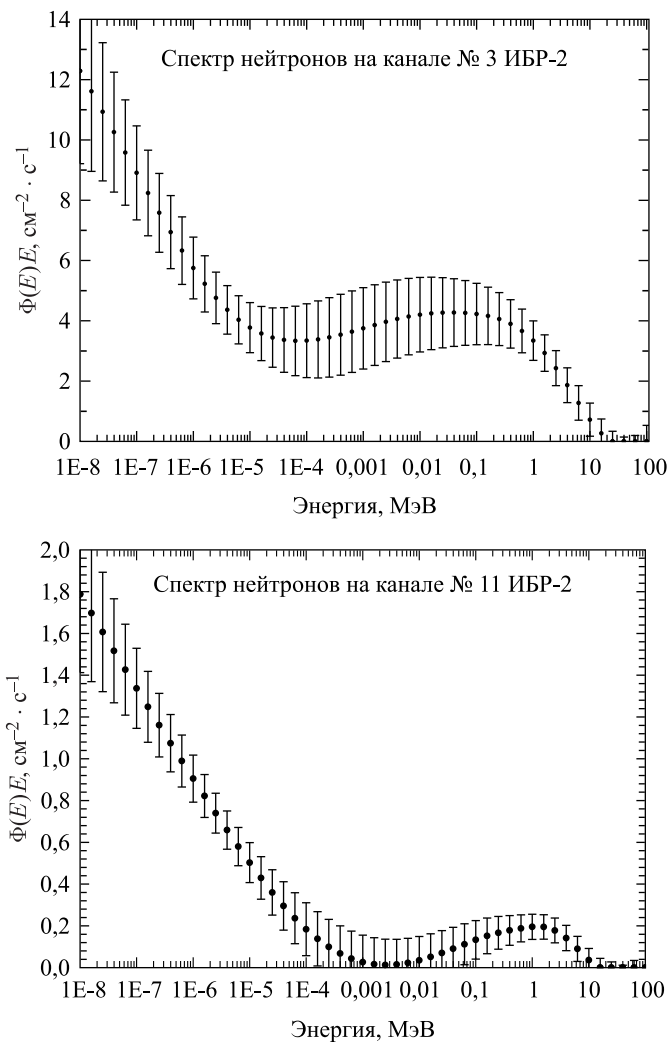


Рис. 5. Спектры нейтронов в точках 1 и 2

В точках 1 и 2 также проводились измерения с помощью шаровой альбедной системы. Результаты измерений с помощью шаровой альбедной системы и расчетов значений поправочных коэффициентов по измеренным спектрам нейтронов представлены в табл. 1. В ней приведены усредненные показания ДВГН-01 на поверхности шара H_s , показания слайда дозиметра H_c в центре шара, отношения этих показаний H_c/H_s , результаты расчетов поправоч-

Таблица 1. Результаты измерений с помощью шаровой альбедной системы и расчетов по спектру нейтронов

Место измерений	Средняя энергия спектра, кэВ	H_s , мЗв	H_c , мЗв	$\frac{H_c}{H_s}$	K_E (ИЗО) ¹	K_E (ИЗО) ²	K_E (ИЗО) ³	K_H (ПЗ) ¹	K_H (ПЗ) ²	K_H (ПЗ) ³
Точка 1	218	38,7	17,9	0,46	0,111	0,082	0,097	0,064	0,087	0,075
Точка 2	129	2,4	0,8	0,34	0,076	0,055	0,065	0,040	0,062	0,051

¹Расчет по формуле.
²Расчет по спектру.
³Среднее.

ных коэффициентов по шаровой альбедной системе для эффективной дозы в изотропной геометрии K_E (ИЗО) и для индивидуального эквивалента дозы K_H (ПЗ) в передне-задней геометрии и расчет этих коэффициентов по измеренному спектру нейтронов. Приведены также средние значения коэффициента в каждой точке, рассчитанные по этим двум методам.

3. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ИХ СРАВНЕНИЕ С ПОЛУЧЕННЫМИ РАНЕЕ ДАННЫМИ

В табл. 2 представлены результаты сравнения полученных в данной работе значений поправочных коэффициентов с поправочными коэффициентами по данным, полученным ранее на импульсном реакторе ОИЯИ ИБР-30, а также в низкоэнергетических спектрах на других установках ОИЯИ: ИРЕН, У-300 и МЦ-400 ЛЯР, где средняя энергия не превышает нескольких сотен кэВ.

По результатам, представленным в табл. 1 и 2, можно сказать следующее.

1. Спектр нейтронов в точках 1 и 2 является низкоэнергетичным, со средней энергией меньше 1 МэВ и отношением H_c/H_s меньше 1, что говорит о правомерности использования шаровой альбедной системы в таких спектрах нейтронов.

2. Значения поправочных коэффициентов, определенных различными методами — расчетом по спектру и с помощью шаровой альбедной системы, отличаются от средних значений не более чем на 20 %, что говорит о хорошем согласии обоих методов и достоверности значений полученных коэффициентов.

3. Полученные результаты говорят о возможности использования шаровой альбедной системы для коррекции показаний альбедных дозиметров за

Таблица 2. Сравнение представленных результатов с полученными ранее данными

Установка	Средняя энергия спектра, кэВ	Средний удельный AMBIENTный эквивалент дозы спектра нейтронов [7], пЗв · см ²	Коэффициенты	
			K_H (ПЗ)	K_E (ИЗО)
Фазотрон	258	30,5	0,045	0,057
ИБР-30	93	37,4	0,038	0,048
ИБР-30	210	54,8	0,062	0,082
ИБР-30	242	60,8	0,065	0,088
ИБР-2М, т. 1*	218	55,8	0,075	0,097
ИБР-2М, т. 2*	129	34,0	0,051	0,065
У-300	267	60,2	0,065	0,104
У-300	245	95,7	0,111	0,128
У-300	588	39,0	0,040	0,046
ИРЕН	257	43,6	0,093	0,105
МЦ-400	230	53,6	0,060	0,080

* Данные, полученные в этой работе.

защитой реактора ИБР-2М и в низкоэнергетических спектрах таких ядерно-физических установок, как ускорители ЛЯР.

4. Результаты сравнения полученных поправочных коэффициентов с другими данными для низкоэнергетических спектров показывают их хорошее согласие. При этом все они лучше коррелируют не со средней энергией спектра, а с AMBIENTным эквивалентом дозы на единичный флюенс (удельной дозой) для данного спектра.

5. Значения поправочных коэффициентов для K_H (ПЗ) и K_E (ИЗО), как правило, не превышают 0,10, за исключением спектра на У-300 со значением удельной дозы, близким к 100 пЗв · см². Эти результаты хорошо согласуются с данными работы [7] для низкоэнергетических спектров за защитой МЦ-400 ЛЯР, где поправочные коэффициенты в основном не превышают значения 0,10.

6. Следует отметить близость значений поправочных коэффициентов K_H (ПЗ) и K_E (ИЗО) для точек измерения на ИБР-2М. Это говорит о корректности определения нормируемой величины эффективной дозы с помощью нахождения по результатам ИДК рекомендованной операционной величины — индивидуального эквивалента дозы в передне-задней геометрии.

ВЫВОДЫ

1. В результате работы определены спектры нейтронов и проведены измерения с помощью шаровой альбедной системы в двух точках за защитой реактора ИБР-2М в экспериментальном зале в низкоэнергетических спектрах.

2. Определены значения поправочных коэффициентов по показаниям индивидуального альбедного дозиметра ДВГН-01 в этих точках двумя методами: расчетным путем с использованием измеренных спектров и с помощью шаровой альбедной системы.

3. Получено хорошее согласие значений поправочных коэффициентов, определенных этими методами, что говорит о правомерности использования шаровой альбедной системы для нахождения значений поправочных коэффициентов за защитой ИБР-2М.

4. Близость значений поправочных коэффициентов для амбиентного эквивалента дозы K_H (ПЗ) и эффективной дозы K_E (ИЗО) говорит о корректности определения нормируемой величины эффективной дозы с помощью нахождения ее по результатам ИДК рекомендованной операционной величины — индивидуального эквивалента дозы.

5. Рекомендуется использовать в ИДК в ЛНФ значение поправочного коэффициента к показаниям ДВГН-01, равное 0,10.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СанПиН 2.6.1.2523-09. М., 2009.
2. Комплекс автоматизированный индивидуального дозиметрического контроля АКИДК-301. Руководство по эксплуатации. Ангарск, 2007.
3. Санников А. В. и др. Индивидуальный дозиметр смешанного излучения ДВГН-01: разработка и исследование характеристик. Препринт ИФВЭ-6 ОРИ, 2005.
4. Бескровная Л. Г., Горошкова Е. А., Мокров Ю. В. Исследование адекватности показаний альбедного дозиметра ДВГН-01 дозам облучения персонала в полях нейтронного излучения ядерно-физических установок ОИЯИ // Письма в ЭЧАЯ. 2010. Т. 7, №3 (159). С. 347–363.
5. Санников А. В. и др. Препринт ИФВЭ 2008-1 ОРИ, 2008.
6. Мокров Ю. В., Морозова С. В. Использование шаровой альбедной системы для коррекции показаний альбедных дозиметров в полях нейтронного излучения фазотрона ОИЯИ // Письма в ЭЧАЯ. 2014. Т. 11, № 2(186). С. 219–232.
7. Мокров Ю. В. и др. Коррекция показаний альбедных дозиметров на МЦ400 ЛЯР с помощью шаровой альбедной системы и сравнение с другими методами коррекции // Письма в ЭЧАЯ. 2014. Т. 11, № 6(190). С. 1243–1255.

Получено 27 октября 2017 г.

Редактор *А. И. Петровская*

Подписано в печать 19.12.2017.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,69. Уч.-изд. л. 0,85. Тираж 170 экз. Заказ № 59300.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/