

P16-2016-89

Ю. В. Мокров, С. В. Морозова

КОРРЕКЦИЯ ПОКАЗАНИЙ АЛЬБЕДНОГО ДОЗИМЕТРА  
НЕЙТРОНОВ **ДВГН-01** В ПОЛЯХ ИЗЛУЧЕНИЯ  
ГЕНЕРАТОРА НЕЙТРОНОВ **ИНГ-27**  
С ПОМОЩЬЮ ШАРОВОЙ АЛЬБЕДНОЙ СИСТЕМЫ

Мокров Ю. В., Морозова С. В.

P16-2016-89

Коррекция показаний альбедного дозиметра нейтронов ДВГН-01 в полях излучения генератора нейтронов ИНГ-27 с помощью шаровой альбедной системы

В работе представлены результаты коррекции показаний альбедных дозиметров ДВГН-01 в поле излучения генератора нейтронов ИНГ-27 с энергией 14 МэВ с помощью шаровой альбедной системы. В работе определены значения поправочных коэффициентов для двух геометрий облучения: для индивидуального эквивалента дозы в передне-задней геометрии и для эффективной дозы в изотропной геометрии. Результаты работы могут использоваться при проведении индивидуального дозиметрического контроля персонала, работающего с генераторами нейтронов ИНГ-27.

Работа выполнена в Отделе радиационной безопасности ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2016

Mokrov Yu. V., Morozova S. V.

P16-2016-89

The Correction of Albedo Dosimeters DVGН-01 Readout at the Neutron Generator ING-27 with the Help of a Spherical Albedo System

The results of readout correction for albedo dosimeters DVGН-01 with using of a spherical albedo system are presented. The measurements were carried out behind the neutron generator ING-27. On the base of the presented results the correction coefficients were recommended for individual radiation control at the neutron generator ING-27.

The investigation has been performed at the Radiation Safety Department, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2016

## ВВЕДЕНИЕ

В последнее время широкое распространение получили портативные генераторы нейтронов, например, генераторы ИНГ-27. Такие генераторы широко используются во многих устройствах, например, в детекторах обнаружения опасных веществ (взрывчатых, сильнодействующих ядовитых, наркотических, радиоактивных), применяющих метод меченых нейтронов (ММН) [1, 2]. Наиболее распространенным детектором такого типа является переносной детектор взрывчатых веществ ДВиН-1, который производит ООО «Нейтронные технологии» в Дубне. Источником меченых нейтронов в детекторе ДВиН является генератор ИНГ-27, испускающий нейтроны с энергией 14 МэВ в реакции  $d + t \rightarrow \alpha + n$ .

При широком использовании генераторов нейтронов ИНГ-27 возникает задача проведения индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) персонала, работающего с такими генераторами. Наиболее распространенным средством ИДК нейтронного излучения в настоящее время является дозиметр ДВГН-01 комплексов АКИДК-301 и АКИДК-302, в котором используется альбедный метод регистрации нейтронов [3]. Особенностью альбедных дозиметров является существенная энергетическая зависимость чувствительности (ЭЗЧ), которая резко уменьшается при энергии нейтронов выше 10 кэВ. Это приводит к тому, что показания альбедных дозиметров зависят от энергии регистрируемых ими нейтронов, т. е. эти показания могут существенно отличаться от значения дозы нейтронов в месте измерений. В зависимости от энергии нейтронов дозиметры могут как занижать дозу излучения в несколько раз, так и завышать ее до двух раз в зависимости от того, при какой энергии нейтронов они калибровались. При энергии нейтронов 14 МэВ, испускаемых генератором, персонал будет подвергаться воздействию нейтронов с меньшей энергией за счет вклада рассеянных в помещении нейтронов. А так как альбедные дозиметры калибруются с помощью Pu–Be-источника нейтронов, имеющего среднюю энергию по флюенсу 4,2 МэВ, то при использовании их в полях излучения нейтронов, испускаемых генератором ИНГ-27, необходимо

вводить коррекцию в их показания в зависимости от того, в каких точках поля нейтронного излучения за пределами генератора эти дозиметры используются. Коррекция проводится с помощью поправочных коэффициентов, на которые умножаются показания дозиметров для получения правильного значения дозы облучения.

Целью настоящей работы является определение таких поправочных коэффициентов для альбедных дозиметров ДВГН-01 с помощью шаровой альбедной системы при использовании их в ИДК персонала, работающего с генераторами нейтронов ИНГ-27.

## 1. КОРРЕКЦИЯ ПОКАЗАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ШАРОВОЙ АЛЬБЕДНОЙ СИСТЕМЫ

Шаровая альбедная система состоит из полиэтиленового шара диаметром 25,4 см (10 дюймов), на поверхности которого располагаются симметрично относительно центра шесть дозиметров ДВГН-01. В центре шара находится слайд ДВГН-01, который размещается в шаре с помощью полиэтиленовой вставки. Внешний вид шаровой альбедной системы показан на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид шаровой альбедной системы

Слайд ДВГН-01 в центре шара предназначен для оценки с помощью его показаний эффективной дозы нейтронов при изотропном облучении и амбиентного эквивалента дозы в передне-задней (ПЗ) геометрии облучения.

Отношение показания слайда в центре шара  $H_c$  к усредненному показанию 6 штук ДВГН-01 на поверхности шара  $H_s$  может служить оценкой жесткости спектра нейтронов — с ростом энергии нейтронов оно растет. При использовании шаровой альбедной системы для коррекции показаний ДВГН-01 со значениями этого отношения для различных низкоэнергетических полей нейтронов однозначно связаны значения поправочных коэффициентов.

Для 23 спектров за защитой ЯФУ ОИЯИ в работе [4] были рассчитаны отношения  $H_c/H_s$  и соответствующие им значения поправочных коэффициентов  $K_H(ПЗ)$  для индивидуального эквивалента дозы в передне-задней геометрии и  $K_e(ISO)$  для эффективной дозы в изотропной геометрии.

Зависимость значений поправочных коэффициентов от отношения  $H_c/H_s$  для низкоэнергетических спектров аппроксимирована следующими формулами:

$$K_e(\text{ISO}) = 0,297 \cdot (H_c/H_s)^{1,264}, \quad (1)$$

$$K_H(\text{ПЗ}) = 0,209 \cdot (H_c/H_s)^{1,131}. \quad (2)$$

На рис. 2 и 3 сплошной линией показаны соответствующие аналитические зависимости, пунктиром — коридор неопределенности, в который входит 85 % точек, соответствующих низкоэнергетическим спектрам. Ширина коридора неопределенности составляет  $\pm 20\%$  от значений, определенных по формулам (1) и (2).

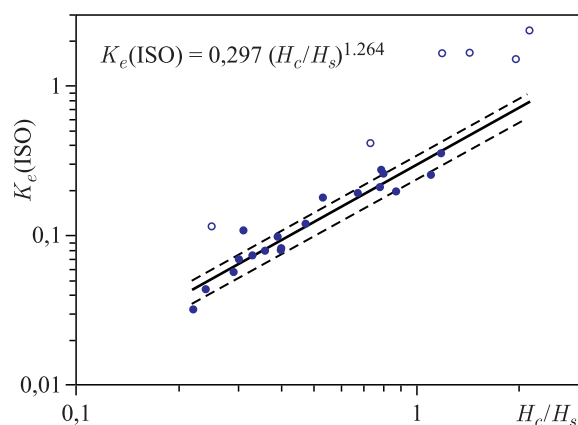


Рис. 2. Зависимость поправочного коэффициента  $K_e(\text{ISO})$  от отношения  $H_c/H_s$

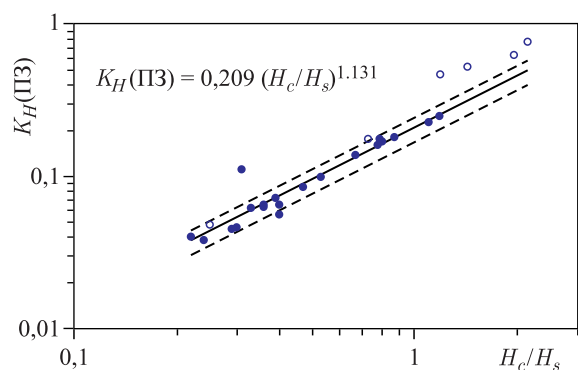


Рис. 3. Зависимость поправочного коэффициента  $K_H(\text{ПЗ})$  от отношения  $H_c/H_s$

## 2. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ С ШАРОВОЙ АЛЬБЕДНОЙ СИСТЕМОЙ В ПОЛЯХ НЕЙТРОНОВ ИНГ-27

Измерения с шаровой альбедной системой проводились в трех точках вокруг работающего генератора ИНГ-27 в помещении, в котором расстояние до стен было не менее 8 м. Выход нейтронов составлял около  $4 \cdot 10^7$  нейтр./с. Места измерений показаны на рис. 4.

Точки измерения располагались вокруг ИНГ-27 следующим образом:

- точка 1 располагалась на расстоянии 3 м от задней части генератора;
- точка 2 находилась на расстоянии около 4,5 м от передней части генератора в направлении распространения нейтронов;
- точка 3 находилась на расстоянии 1,3 м от боковой поверхности генератора.

Шаровая альбедная система располагалась во всех точках на высоте 1,2 м.

Время облучения системы составляло около 11,5 ч.

После облучения дозиметры ДВГН-01 и слайд дозиметра, помещенный в его корпус, обрабатывались по стандартной методике на считывателе СТЛ-300 комплекса АКИДК-301.

Полученные при измерениях на считывателе показания дозиметров были обработаны и в результате получены следующие величины, представленные в таблице:

1. Максимальное показание дозиметра на шаре  $H_{\max}$ . Как видно из таблицы, максимальные показания во всех точках зарегистрированы на стороне шара, обращенной к генератору, что говорит о направленном облучении шаровой системы. Это подтверждается расчетом оценочного значения коэф-

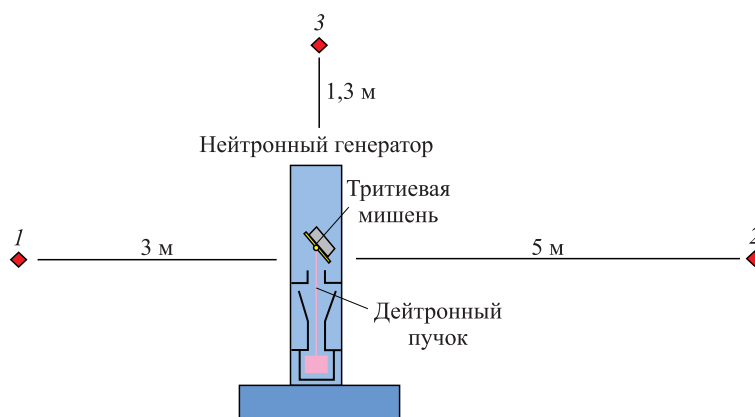


Рис. 4. Геометрия измерений

коэффициента изотропности излучения, который определяется по формуле

$$K_{\text{из}} = (A + B)/A, \quad (3)$$

где  $A$  — максимальное показание дозиметра на шаре;  $B$  — показание дозиметра на противоположной стороне.

Определенный так коэффициент изотропности для нейтронов с энергией до 20 МэВ дает приблизительную оценку углового распределения излучения в месте измерений. Близость этого коэффициента к 1 говорит о так называемой передне-задней геометрии облучения, когда излучение падает нормально на фантом с дозиметром, расположенным на его передней стороне. Близость коэффициента к 2 говорит о близости к изотропному облучению, т. е. одинаковому со всех направлений. Как видно из результатов измерений, значения коэффициента изотропности по всех точках измерений близки к 1, что говорит о скорее направленном облучении (ПЗ-геометрии) со стороны генератора.

2. Среднее арифметическое значение показаний 6 дозиметров на поверхности шара  $H_s$ .

3. Показание слайда дозиметра в центре шара  $H_c$ .

4. Значение мощности амбиентного эквивалента дозы  $H^*(10)$  в мЗв, которое определялось по формуле

$$H^*(10) = H_{\text{ДВГН}} \cdot K_{\text{гр}}, \quad (4)$$

где  $K_{\text{гр}}$  — градуировочный коэффициент, полученный в ОИЯИ для нейтронов Pu-Be-источника и равный 0,59;  $H_{\text{ДВГН}}$  — показания дозиметра в мЗв.

5. Поправочные коэффициенты  $K_H(\text{ПЗ})$  для индивидуального эквивалента дозы в передне-задней геометрии, рассчитанные по формуле (2).

6. Поправочные коэффициенты  $K_c(\text{ISO})$  для эффективной дозы в изотропной геометрии, рассчитанные по формуле (1).

#### Результаты измерений

Точка измерений	$H_{\text{max}}$ , мЗв	$H_s$ , мЗв	$H_c$ , мЗв	$H_c/H_s$	$K_H(\text{ПЗ})$	$K_c(\text{ISO})$	$K_{\text{из}} = \frac{A+B}{A}$	$H^*(10)$ , мЗв
1	1,254	0,807	2,13	2,63	0,62	1,00	1,37	1,26
2	0,875	0,585	1,36	2,32	0,54	0,86	1,37	0,80
3	5,577	3,345	11,82	3,53	0,87	1,45	1,26	6,97

### 3. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

На различных расстояниях от 1 до 4 м от генератора реализуется ПЗ-геометрия облучения. Это обусловлено тем, что измерения проводились в помещении, где расстояние от генератора до стен составляло не менее 8 м.

В помещении меньших размеров геометрия облучения может быть другой. Например, близкой к изотропной или ротационной (равномерной в горизонтальной плоскости).

В связи с этим для расчета доз облучения персонала по показаниям ДВГН-01 в поле излучения генератора ИНГ-27 в подобном случае может использоваться поправочный коэффициент для индивидуального эквивалента дозы в ПЗ-геометрии.

Анализ значений коэффициентов показывает, что с увеличением расстояния от генератора значение коэффициентов уменьшается, что хорошо согласуется с представлением о смягчении спектров нейтронов при увеличении расстояния за счет возрастания вклада в них рассеянных нейтронов с меньшей энергией. При этом чем ближе точка измерений к генератору (увеличение энергии нейтронов), тем ближе значение коэффициента к единице.

Аналогичная картина наблюдается и для коэффициента  $K_e(\text{ISO})$  в изотропной геометрии.

Исходя из приведенных в таблице результатов, можно рекомендовать использовать при работе персонала с генератором ИНГ-27 следующие средние значения поправочных коэффициентов:

- $K_H(\text{ПЗ}) = 0,68$ ;
- $K_e(\text{ISO}) = 1,10$ .

Если известно, что персонал работает вблизи генератора, то могут использоваться большие значения поправочных коэффициентов, равные, например, значениям коэффициентов для точки 3.

## ВЫВОДЫ

1. В настоящей работе получены значения поправочных коэффициентов для альбедных дозиметров нейтронов ДВГН-01 комплекса АКЖДК-301 при использовании дозиметра в полях генератора нейтронов ИНГ-27.

2. Поправочные коэффициенты получены для двух величин, используемых в индивидуальном дозиметрическом контроле персонала, — индивидуального эквивалента дозы и эффективной дозы и для двух геометрий облучения — передне-задней и изотропной.

3. Полученные значения поправочных коэффициентов могут использоваться при ИДК персонала, работающего с генератором нейтронов ИНГ-27.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Быстрицкий В. М. и др. Стационарная установка для обнаружения взрывчатых веществ на основе метода меченых нейтронов // Письма в ЭЧАЯ. 2013. Т. 10, № 5(182). С. 722–729.



2. *Алексахин В. Ю. и др.* Оценка возможности определения элементного состава горных пород с помощью метода меченых нейтронов. Препринт ОИЯИ Р14-2015-52. Дубна, 2015. 15 с.
3. Комплекс индивидуального дозиметрического контроля АКЖДК-301. Ангарск, 2004.
4. *Мокров Ю. В. и др.* Коррекция показаний альбедных дозиметров на МЦ-400 ЛЯР с помощью шаровой альбедной системы и сравнение с другими методами коррекции // Письма в ЭЧАЯ. 2014. Т. 11, № 6(190). С. 1243–1255.

Получено 21 декабря 2016 г.

Редактор *М. И. Зарубина*

Подписано в печать 11.01.2017.

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

Усл. печ. л. 0,62. Уч.-изд. л. 0,78. Тираж 170 экз. Заказ № 58992.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: [publish@jinr.ru](mailto:publish@jinr.ru)

[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)