

P16-2021-25

Ю. В. Мокров<sup>1,2,\*</sup>, С. В. Морозова<sup>1</sup>, В. Ю. Щеголев<sup>1,2</sup>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
ПОПРАВочНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ  
ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ПОКАЗАНИЙ  
ИНДИВИДУАЛЬНОГО АЛЬБЕДНОГО ДОЗИМЕТРА  
НЕЙТРОНОВ **ДВГН-01**  
В ПОЛЕ УСКОРИТЕЛЯ **ДЦ-280**

---

<sup>1</sup> Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

<sup>2</sup> Государственный университет «Дубна», Дубна, Россия

\* E-mail: mokrov@jinr.ru

Мокров Ю. В., Морозова С. В., Щеголев В. Ю.

P16-2021-25

Определение поправочных коэффициентов для коррекции показаний индивидуального альбедного дозиметра нейтронов ДВГН-01 в поле ускорителя ДЦ-280

В работе представлены результаты определения поправочных коэффициентов для индивидуальных альбедных дозиметров нейтронов ДВГН-01 комплекса АКИДК-301 для коррекции их показаний при использовании персоналом в поле ускорителя ДЦ-280 ЛЯР. Поправочные коэффициенты определялись с помощью шаровой альбедной системы при облучении в четырех точках: в зале ускорителя в районе радиационного монитора и перед защитной дверью из зала ускорителя (помещение 110) и в кабине вывода пучка (помещение 115). Полученные значения коэффициентов хорошо согласуются с коэффициентами, полученными ранее на МЦ-400 и используемыми в индивидуальном дозиметрическом контроле персонала ЛЯР.

Работа выполнена в Отделе радиационной безопасности ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2021

Mokrov Yu. V., Morozova S. V., Schegolev V. Yu.

P16-2021-25

Determination of Correction Factors for Correction of the Individual Albedo Neutron Dosimeter DVGН-01 Readings in the Field of the DC-280 Accelerator

The paper presents the results of determining the correction coefficients for individual albedo neutron dosimeters DVGН-01 of the AKIDK-301 complex for correcting their readings when used by personnel in the field of the DC-280 accelerator.

The correction coefficients have been determined using a spherical albedo system under irradiation at four points: in the accelerator hall near the radiation monitor and in front of the shield door from the accelerator hall (room 110) and in the beam output cabin (room 115). The obtained values of the coefficients are in good agreement with the coefficients obtained earlier on the MC-400 and used in the individual dosimetric control of the personnel of the FLNR.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2021

## ВВЕДЕНИЕ

Индивидуальный дозиметрический контроль (ИДК) персонала ЛЯР по нейтронному излучению проводится с помощью индивидуальных альбедных дозиметров ДВГН-01 комплексов АКИДК-301 и 302 [1]. Работа таких дозиметров основана на регистрации отраженных от тела персонала так называемых альбедных нейтронов. Наряду с очевидными достоинствами альбедные дозиметры обладают таким недостатком, как зависимость их показаний от спектра (энергии) падающих на тело и дозиметр нейтронов. Это обусловлено энергетической зависимостью чувствительности (ЭЗЧ) таких дозиметров, которая существенно отличается от требуемой для дозиметра зависимости чувствительности от энергии нейтронов, как показано на рис. 1.

Отношение показаний дозиметра к действительному значению индивидуального эквивалента дозы (поправочный коэффициент) в зависимости от спектра (энергии) нейтронов может колебаться от 0,05 до 2,0 в реальных спектрах за защитой установок ОИЯИ. Все это вызывает необходимость определять значения поправочных коэффициентов для таких дозиметров в полях установок ОИЯИ, чтобы использовать их при определении доз облучения персонала, работающего на этих установках. В последние годы

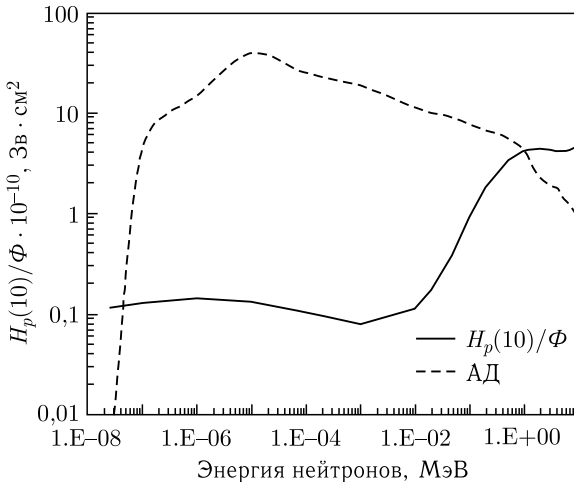


Рис. 1. ЭЗЧ альбедного дозиметра (АД) и зависимость индивидуального эквивалента дозы на единичный флюенс  $H_p(10)/\Phi$  от энергии нейтронов

такие работы проводились на ядерно-физических установках как в ОИЯИ, так и в других научных центрах [2–5].

В настоящей работе представлены результаты определения поправочных коэффициентов для дозиметра ДВГН-01 в двух точках на вводимом в действие ускорителе ДЦ-280 в ЛЯР с помощью шаровой альбедной системы.

## 1. КОРРЕКЦИЯ ПОКАЗАНИЙ ДВГН-01 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. 2.

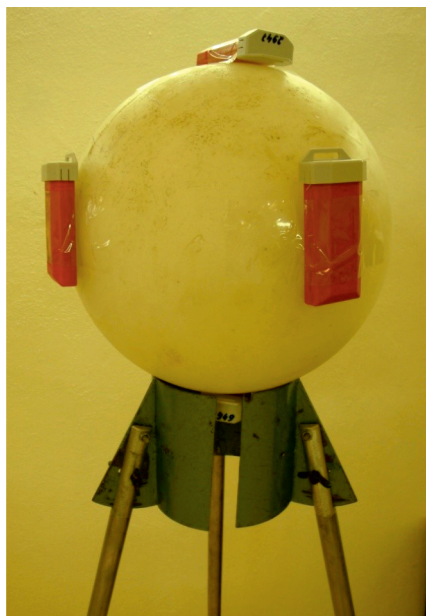


Рис. 2. Внешний вид шаровой альбедной системы

Среднее значение показаний шести ДВГН-01, расположенных на поверхности шара, позволяет моделировать условия изотропного облучения ДВГН-01 на фантоме (теле человека). Это обосновано тем, что ЭЗЧ ДВГН-01 на поверхности шара и на эллиптическом тканеэквивалентном фантоме, наиболее близком к телу человека, отличаются незначительно. Выбор изотропной геометрии обусловлен тем, что такой вид геометрии облучения наиболее адекватно отражает реальную геометрию при облучении персонала, если не известно точно, в какой геометрии проходило облучение. С одной стороны, облучение персонала происходит, как правило, в помешении при преобладающем вкладе

рассеянного от стен, пола и потолка излучения, с другой — персонал во время работы перемещается, что делает его облучение более изотропным.

Слайд ДВГН-01 в центре шара предназначен для оценки с помощью его показаний индивидуального эквивалента дозы нейтронов при изотропном облучении и AMBIENTного эквивалента дозы в переднезадней геометрии облучения. Отношение показания слайда в центре шара  $H_c$  к усредненному показанию шести штук ДВГН-01 на поверхности шара  $H_s$  может служить оценкой жесткости спектра нейтронов: с ростом энергии нейтронов оно

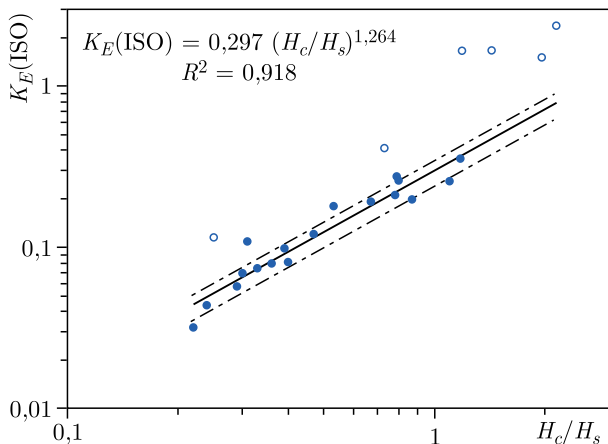


Рис. 3. Зависимость поправочного коэффициента  $K_E(ISO)$  от отношения  $H_c/H_s$

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 переднезадней 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:

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

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

На рис.3 в качестве примера сплошной линией показана соответствующая аналитическая зависимость для  $K_E(ISO)$ , штрихпунктирными линиями — коридор неопределенности, в который входит 85% точек, соответствующих низкоэнергетическим спектрам. Ширина коридора неопределенности составляет  $\pm 20\%$  от значений, определенных по формуле (1).

## 2. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ НА УСКОРИТЕЛЕ ДЦ-280

План ускорителя ДЦ-280 и точки расположения шаровой альбедной системы при измерениях показаны на рис. 4. Точки 1 и 4 располагались в зале ускорителя: точка 1 в районе ускорителя, точка 4 перед защитной дверью из зала ускорителя. Точки 2 и 3 располагались в физкабине ускорителя (помещение 115) за защитами разной толщины и на разном расстоянии от места взаимодействия пучка с мишенью (см. рис. 4). Точка 2 располагалась

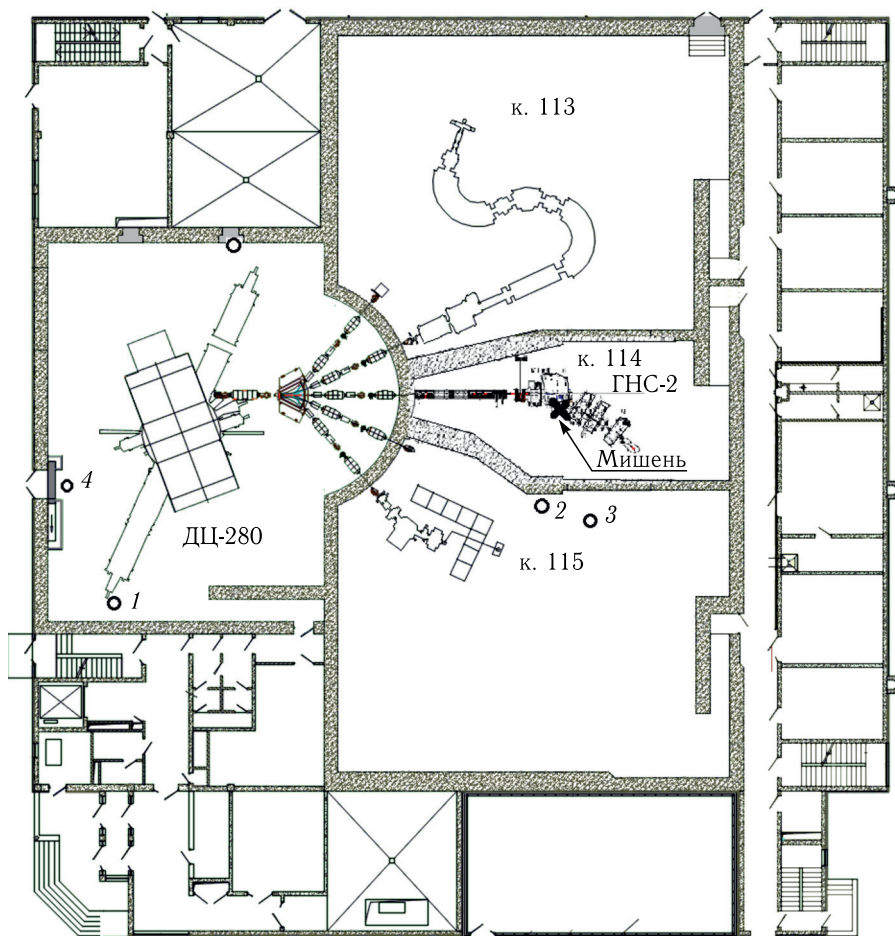


Рис. 4. План ускорителя и расположение точек измерения

за более толстой защитой и дальше от места взаимодействия пучка с цилиндром Фарадея, точка 3 — за менее толстой защитой и ближе к месту потери пучка на ГНС-2. Энергия ускоренного пучка  $^{48}\text{Ca}$  составляла около 5,5 МэВ/нуклон, пучок выводился в газонаполненный сепаратор ГНС-2. Интенсивность пучка с  $A = 48$  достигала  $(3-5) \cdot 10^{13}$  част./с. Основные потери пучка происходили в помещении физкабины ГНС-2 на медном цилиндре Фарадея, принимающем не провзаимодействовавший на мишени первичный пучок ионов ( $\sim 99\%$ ). При работе ускорителя в зале циклотрона персонал не может находиться, в смежных помещениях с залом циклотрона и работающей физкабиной возможно присутствие персонала.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Результаты измерений представлены в таблице:

| Место измерений | $H_{\max}$ , мЗв | $H_s$ , мЗв | $H_c$ , мЗв | $H_c/H_s$ | $H^*(10)$ | $K_E(\text{ISO})$ | $K_E(\text{ISO})$ [4] | $K_{\text{из}} = (A+B)/A$ | $K_H(\text{ПЗ})$ |
|-----------------|------------------|-------------|-------------|-----------|-----------|-------------------|-----------------------|---------------------------|------------------|
| Точка 1         | 2,85             | 2,43        | 1,34        | 0,55      | 0,79      | 0,14              | 0,12                  | 1,71                      | 0,11             |
| Точка 2         | 1,05             | 0,78        | 0,55        | 0,70      | 0,32      | 0,19              | 0,15                  | 1,33                      | 0,14             |
| Точка 3         | 1,33             | 0,81        | 0,89        | 1,10      | 0,52      | 0,33              | 0,26                  | 1,20                      | 0,23             |
| Точка 4         | 16,51            | 13,20       | 7,94        | 0,60      | 4,68      | 0,15              | 0,13                  | 1,61                      | 0,12             |

Здесь  $H_{\max}$  — максимальное значение показаний ДВГН-01 на шаре,  $H_s$  — усредненное значение показаний шести дозиметров ДВГН-01, расположенных на шаре,  $H_c$  — показание слайда в центре шара системы. Значения поправочных коэффициентов рассчитаны по формулам (1) и (2). Изотропность поля излучения в точке измерения оценивалась с помощью коэффициента  $K_{\text{из}}$ , определяемого как отношение  $(A+B)/A$ , где  $A$  — максимальное показание ДВГН-01 на шаре,  $B$  — показание ДВГН-01 на стороне, противоположной той, где наблюдается максимальное значение показаний. Коэффициент  $K_{\text{из}}$  используется в полях нейтронов с энергией меньше 20 МэВ для оценки изотропности поля излучения: близость его к единице говорит о направленности излучения со стороны максимального значения ( $A$ ), близость к двум говорит об изотропности излучения. Значения амбиентного эквивалента дозы  $H^*(10)$  определялись по показаниям  $H_c$  слайда, расположенного в центре шара, по формуле  $H^*(10) = H_c \cdot 0,59$ , где 0,59 — градуировочный коэффициент слайда в центре шара, определенный по источнику нейтронов из Pu-Be на поверочной установке. В таблице приведены также значения коэффициента  $K_E(\text{ISO})$ , рассчитанные по формуле, предложенной в работе [4].

### 4. ВЫВОДЫ

На основании представленных результатов можно сделать следующие выводы.

1. В соответствии со значениями отношений  $H_c/H_s$  спектры нейтронов в точках измерений относятся к низкоэнергетическим, которые характеризуются этим отношением меньше или в районе единицы и средними энергиями менее 1 МэВ. Это позволяет использовать в таких полях шаровую альбедную систему для определения поправочных коэффициентов для ДВГН-01. Исключение составляет точка 3, в которой отношение незначительно превышает единицу. Это говорит о большей жесткости спектра, что подтверждается и условиями его формирования — точка 3 находится за более тонкой защитой в сравнении с точкой 2 и ближе к месту потерь пучка. Такой вывод можно сделать и из сравнения поправочных коэффи-

циентов — они должны увеличиваться с ростом средней энергии спектра нейтронов.

2. В соответствии со значениями коэффициента изотропности поле нейтронов в точках 1 и 4 ближе к направленному со стороны ускорителя. В точках 2 и 3 оно ближе к изотропному, что характерно для полей нейтронов в помещениях за сплошными защитами, где угловое распределение излучения во многом определяется рассеянными в помещении нейтронами.

3. Полученные значения поправочных коэффициентов для ДЦ-280 в точках 1, 2 и 4 хорошо согласуются со значениями поправочных коэффициентов для низкоэнергетических спектров на установках ЛНФ и ЛЯР, где значения поправочных коэффициентов не превышают 0,16. Так, они хорошо согласуются со значениями поправочных коэффициентов, определенных для полей излучения на У-300 и МЦ-400 ЛЯР [3], которые находятся в диапазоне от 0,05 до 0,16. Исключение составляет точка 3, в которой спектр более жесткий, чем в других точках, о чем сказано выше.

4. Значения поправочных коэффициентов  $K_E(ISO)$ , определенных по формуле (1) настоящей работы, довольно хорошо согласуются с коэффициентами, приведенными по формуле работы [4]: для каждой точки отличие от среднего значения не превышает 10 %.

5. Приведенные в таблице значения поправочных коэффициентов подтверждают правомерность использования предложенного в работе [3] для персонала ЛЯР значения поправочного коэффициента, равного 0,15.

6. Близость значений поправочных коэффициентов  $K_E(ISO)$  и  $K_H(ПЗ)$  говорит о корректности использования операционной величины — индивидуального эквивалента дозы для определения нормируемой величины — эффективной дозы.

Авторы выражают благодарность В. М. Волкову за помощь в проведении измерений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Комплекс автоматизированный индивидуального дозиметрического контроля АКЖДК-301. Руководство по эксплуатации. Ангарск, 2007.
2. 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.
3. 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.
4. Санников А. В. и др. Препринт ИФВЭ 2008-1. Протвино, 2008.
5. Мокров Ю. В. и др. Сообщ. ОИЯИ Р16-2018-36. Дубна, 2018.

Получено 10 июня 2021 г.



Редактор *М. И. Зарубина*

Подписано в печать 01.07.2021.

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

Усл. печ. л. 0,5. Уч.-изд. л. 0,45. Тираж 170 экз. Заказ № 60173.

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/)