

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ АПРОБАЦИИ МЕТОДА ВОССТАНОВЛЕНИЯ СПЕКТРОВ НЕЙТРОННЫХ ПОТОКОВ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ И МЕСТАХ ВРЕМЕННОГО ПРЕБЫВАНИЯ В ПУНКТАХ ХРАНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ (ПХРО)

А. В. Васильев<sup>1</sup>, А. А. Екидин<sup>1</sup>, М. Д. Пышкина<sup>1</sup>, Д. Д. Десятов<sup>1</sup>, С. А. Чугунов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> ФГУП «РАДОН», Екатеринбург, Россия

*Проведены исследования энергетического распределения нейтронного излучения на рабочих местах и местах временного пребывания в пункте хранения радиоактивных отходов (ПХРО). На основе измерений мощности дозы нейтронного и гамма-излучения была построена картограмма поля мощностей доз нейтронного и гамма-излучения в емкости хранения нейтронных источников в ПХРО. Выполнена оценка условно истинного значения мощности амбиентного эквивалента дозы и интегральной плотности потока. На основе полученных данных об энергетическом распределении плотности потока нейтронного излучения были определены условно истинные значения мощности амбиентного эквивалента дозы  $H^*(10)$ , индивидуального эквивалента дозы  $H_p(10)$  и интегральной плотности потока нейтронного излучения как от емкости хранения нейтронных источников в ПХРО, так и от источника Am-Be.*

**Ключевые слова:** нейтронное излучение; энергетическое распределение; спектры; индивидуальный дозиметрический контроль.

### 1. Введение

Одним из основных принципов радиационной безопасности является принцип ALARA [1], который предусматривает поддержание на возможно низком и достижимом уровне как индивидуальных (ниже пределов, установленных действующими нормами), так и коллективных доз облучения, с учетом социальных и экономических факторов. В Российской Федерации принцип ALARA также известен как принцип оптимизации, соблюдение которого, наряду с принципами обоснования и нормирования, является одним из основных факторов обеспечения радиационной безопасности. ALARA применяется на радиационно опасных объектах всего мира в качестве одного из важнейших принципов обеспечения радиационной безопасности при проведении, планировании, подготовке и выполнении радиационно опасных работ [2].

Примером таких радиационно опасных объектов является ФГУП «РАДОН», оказывающий полный комплекс услуг в области обращения с радиоактивными отходами (РАО), включая сбор, транспортирование, переработку, кондиционирование и хранение РАО [3]. На данном предприятии присутствуют ПХРО, следовательно, при выполнении работ на таких пунктах в первую очередь требуется обеспечение радиационной безопасности.

Одной из сложнейших задач в области радиационной безопасности является определение спектра нейтронного излучения. Ввиду большого размаха по величине энергии нейтронов, который составляет не менее 9 порядков – около 0,025 эВ – для надтепловых нейтронов и до десятков МэВ для быстрых нейтронов [4–6], оценить индивидуальную дозу для персонала в большинстве случаев не представляется возможным. Нейтронное излучение, наряду с фотонным, при внешнем облучении представляет наибольшую опасность для персонала на рабочих местах, где такое воздействие обусловлено технологическими процессами или использованием источников ионизирующих излучений (ИИИ). Данное обстоятельство требует наиболее точных оценок эффективной дозы нейтронного излучения для персонала, которые

могут быть получены с использованием информации о распределении энергии нейтронов на рабочем месте персонала.

Цель выполненных исследований – апробация метода восстановления спектров нейтронных потоков на рабочих местах и местах временного пребывания в ПХРО ФГУП «РАДОН».

Задачи исследования:

- построение картограммы поля мощностей доз нейтронного излучения в емкости хранения нейтронных источников в ПХРО;
- измерение энергетического распределения нейтронного излучения;
- оценка условно истинного значения мощности амбиентного эквивалента дозы и интегральной плотности потока.

## 2. Материалы и методы

Для измерения энергетического распределения нейтронного излучения использован дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М с БДКН-06 с набором сферзамедлителей, а также дозиметр-спектрометр нейтронов ДСН-4 на базе дозиметра ДКС-96Н. Восстановление спектра энергетического распределения нейтронного излучения выполнено на основе аттестованной методики [5,6], разработанной специалистами ИПЭ УрО РАН, номер в реестре № ФР.1.38.2020.37361. Полученные данные об энергетическом спектре нейтронов использованы для определения удельного амбиентного эквивалента дозы,  $h^*(10)$ , пЗв·см<sup>2</sup> при помощи уравнения (1):

$$h^*(10) = \frac{\sum_i h^*(10)_i \Phi_i}{\sum_i \Phi_i}, \quad (1)$$

где  $h^*(10)_i$  – удельный амбиентный эквивалент дозы в  $i$ -м энергетическом диапазоне, пЗв·см<sup>2</sup>;

$\Phi_i$  – плотность потока нейтронного излучения в  $i$ -м энергетическом диапазоне, с<sup>-1</sup>·см<sup>-2</sup>.

Удельный амбиентный эквивалент дозы несет информацию о средней энергии спектра, т. е. чем меньше УАЭД, тем «мягче» спектр, таким образом, вклад в плотность потока вносят нейтроны тепловых и промежуточных энергий.

Для измерения мощности амбиентного эквивалента дозы (далее МАЭД) использованы приборы дозиметрического контроля рабочих мест: МКС-АТ1117М (с БДКН-06 для нейтронного излучения и с БОИ-4 для гамма-излучения) и ДСН-4 на базе дозиметра ДКС-96Н. Условно истинное значение МАЭД было определено с учетом восстановленного энергетического спектра нейтронов. Среднее значение МАЭД и удельный АЭД использованы для расчета значения интегральной плотности потока, с<sup>-1</sup>·см<sup>-2</sup>, принятого в качестве условно истинного значения величины плотности потока, в соответствии с уравнением (2):

$$\varphi = \frac{\dot{H}^*(10)}{h^*(10)}, \quad (2)$$

где  $\dot{H}^*(10)$  – среднее значение мощности амбиентного эквивалента дозы, пЗв·с<sup>-1</sup>;

$h^*(10)$  – удельный амбиентный эквивалент дозы, пЗв·см<sup>2</sup>.

## 3. Результаты

Цель первого этапа измерений – определить теоретическое местоположение источника нейтронного излучения в помещении ПХРО. На данном этапе были проведены оценки мощности амбиентного эквивалента дозы нейтронного и гамма-излучения в десяти различных точках в местах временного пребывания в ПХРО (над хранилищем отработанных источников нейтронного излучения) (рис. 1). Детектор

располагался на высоте 1 м от пола. МАЭД гамма-излучения был измерен с помощью БОИ-4 МКС-АТ1117М, МАЭД нейтронного излучения – БДКН-06 МКС-АТ1117М. Результаты измерений МАЭД приведены в табл. 1.

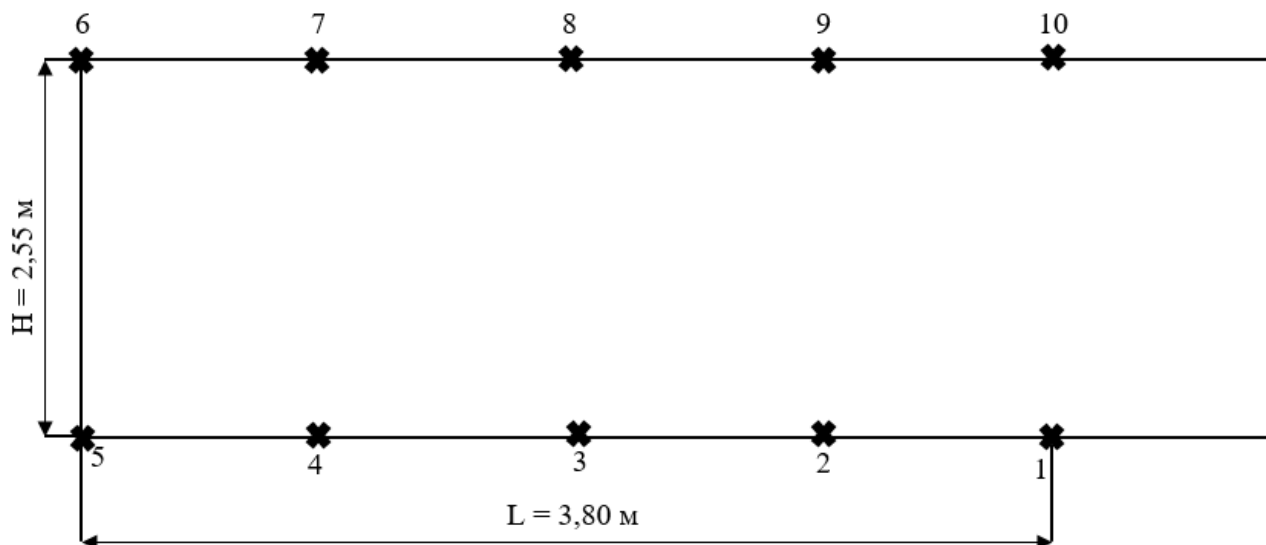


Рис. 1. Расположение точек измерения МАЭД нейтронного и гамма-излучения

Таблица 1. Измеренные значения МАЭД нейтронного и гамма-излучения в помещении над хранилищем отработанных источников нейтронного излучения

№ точки	Значение МАЭД нейтронного излучения, мкЗв/ч	Неопределенность, %	Значение МАЭД гамма-излучения, мкЗв/ч	Неопределенность, %
1	94,1	8	42,0	10
2	112,0	8	38,0	10
3	101,0	8	35,0	10
4	89,2	8	35,3	10
5	67,3	8	25,3	10
6	48,5	8	34,6	10
7	50,5	8	35,5	10
8	61,1	8	52,8	10
9	55,6	8	48,8	10
10	47,6	8	31,1	10

Для построения картограммы поля излучения мощностей доз нейтронного и гамма-излучения была вычислена сумма МАЭД нейтронного и гамма-излучения ( $n+\gamma$ ), а также вычислен парциальный вклад соответствующего излучения в суммарную мощность AMBIENTНОГО эквивалента дозы. Результаты представлены в табл. 2, картограмма поля излучений изображена на рис. 2.

Таблица 2. Сумма МАЭД нейтронного и гамма-излучения ( $n+\gamma$ ) и процентный вклад МАЭД соответствующего излучения в суммарную мощность амбиентного эквивалента дозы

№ точки	МАЭД нейтронного излучения, мкЗв/ч	МАЭД гамма-излучения, мкЗв/ч	Сумма МАЭД $n+\gamma$ , мкЗв/ч	Процентный вклад МАЭД нейтронного излучения в суммарную МАЭД $n+\gamma$ , %	Процентный вклад МАЭД гамма-излучения в суммарную МАЭД $n+\gamma$ , %
1	94,1	42,0	136,1	69,1	30,9
2	112	38,0	150,0	74,7	25,3
3	101	35,0	136,0	74,3	25,7
4	89,2	35,3	124,5	71,6	28,4
5	67,3	25,3	92,6	72,7	27,3
6	48,5	34,6	83,1	58,4	41,6
7	50,5	35,5	86,0	58,7	41,3
8	61,1	52,8	113,9	53,6	46,4
9	55,6	48,8	104,4	53,3	46,7
10	47,6	31,1	78,7	60,5	39,5

Минимальное значение МАЭД нейтронного излучения наблюдается в точке 10 – 47,6 мкЗв/ч, максимальное значение МАЭД нейтронного излучения – в точке 2 – 112 мкЗв/ч.

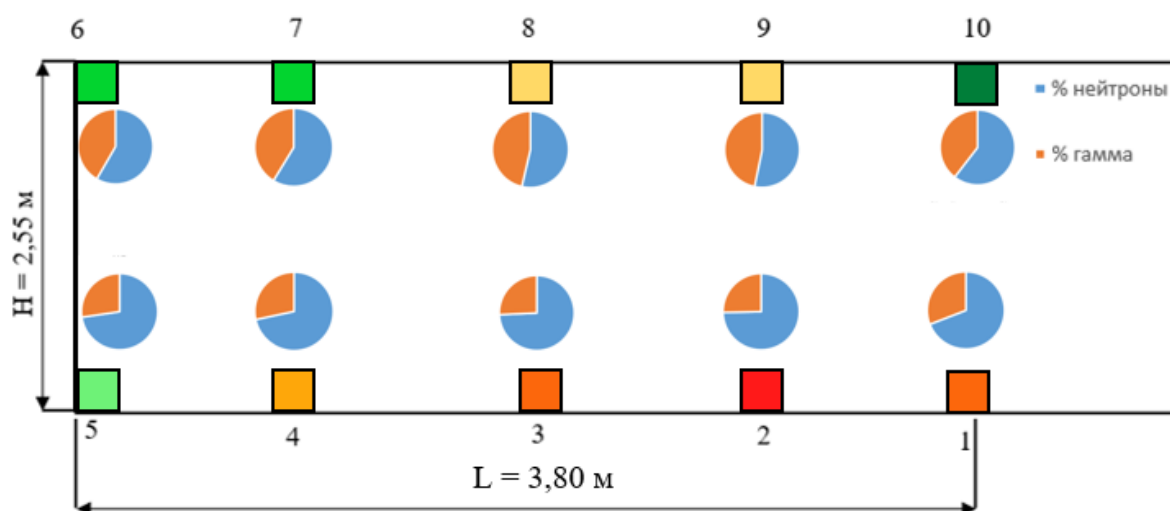


Рис. 2. Построенная картограмма поля мощностей доз нейтронного и гамма-излучения в емкости хранения нейтронных источников в ПХРО

В точке 2 наблюдается максимальное значение МАЭД не только нейтронного излучения, но и суммы МАЭД  $n+\gamma$ . Парциальный вклад МАЭД нейтронного излучения в суммарный МАЭД  $n+\gamma$  для точек 2 и 3 говорит о том, что источник нейтронов располагается ближе к данным точкам, также стоит отметить, что для верхних точек (6–10) вклад МАЭД нейтронного излучения ниже, чем для нижних (1–5). Теоретически можно предположить, что источник располагается в квадрате между точками 2, 3, 8, 9.

Целью второго этапа исследований было измерение энергетического распределения нейтронного излучения с последующей оценкой условно истинного значения мощности амбиентного эквивалента дозы и интегральной плотности потока.

На данном этапе были проведены измерения скоростей счета нейтронного излучения в точке с максимальным значением МАЭД нейтронного и гамма-излучений (точка 2) и в точке 9, расположенной напротив точки 2. Скорости счета, полученные по трем измерениям с помощью дозиметра-радиометра МКС-АТ1117М, в комплект которого входят сферы замедлителей диаметром от 3 до 12 дюймов, использовались для расчета нейтронных спектров. ДСН-4, в комплект которого входят сферы диаметром от 70 до 300 мм, имеет программное обеспечение (далее ПО) для восстановления энергетического спектра нейтронов, однако диапазон энергетического спектра нейтронов ограничивается промежуточными и быстрыми энергиями. В табл. 3 представлены значения скорости счета нейтронного излучения в точках 2 и 9, измеренного с помощью МКС-АТ1117М, в целях дальнейшего восстановления энергетического спектра.

Таблица 3. Усредненные по трем измерениям с помощью дозиметра-радиометра МКС-АТ1117М значения скорости счета нейтронного излучения в точках 2 и 9 в помещении над хранилищем отработанных источников нейтронного излучения

Диаметр сферы, дюйм	Неопределенность, %	Скорость счета в точке 2, с <sup>-1</sup>	Скорость счета в точке 9, с <sup>-1</sup>
0	5	70,0	48,9
3	5	71,1	47,1
4	5	89,1	60,9
6	5	103	64,9
8	5	93,9	53,2
10	5	68,5	35,0
12	5	49,0	25,7

В табл. 4 представлены значения МАЭД нейтронного излучения, измеренного с помощью ДСН-4, в точке 2.

Таблица 4. Усредненные по трем измерениям с помощью ДСН-4 значения МАЭД нейтронного излучения в точке 2 в помещении над хранилищем отработанных источников нейтронного излучения

Диаметр сферы, мм	Неопределенность, %	МАЭД в точке 2, мкЗв/ч
0	5	53,92
70	5	109,9
120	5	151,6
200	5	157,3
300	5	104,3

На рис. 3 изображен восстановленный энергетический спектр нейтронного излучения в точке 2 при использовании детекторов МКС-АТ1117М и ДСН-4.

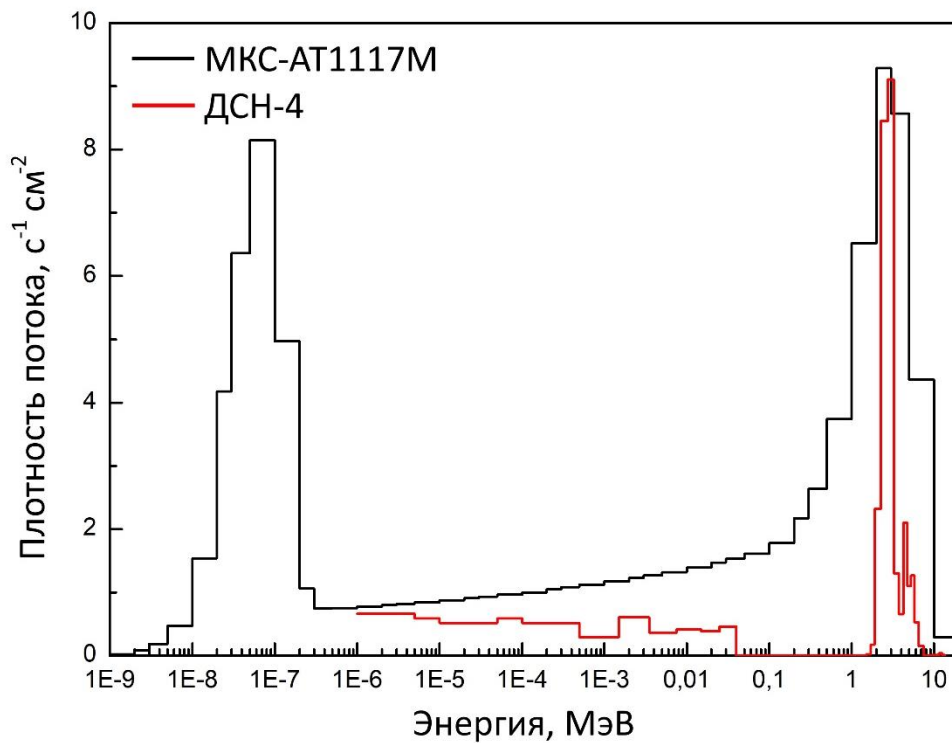


Рис. 3. Энергетическое распределение плотности потока нейтронного излучения в точке 2

В табл. 5, 6 представлены расчетные величины характеристик полей, а также вклад нейтронов различных энергий в плотность потока и МАЭД в точке 2.

Таблица 5. Расчетные величины характеристик полей нейтронного излучения в точке 2

Параметр	Значение	Неопределенность	Единица измерения
Интегральная плотность потока, $\varphi$	90	5	$\text{с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$
Мощность амбиентного эквивалента дозы, $\dot{H}^*(10)$	27	9	мкЗв/ч
Мощность эффективной дозы, E	25	8	мкЗв/ч
Мощность индивидуального эквивалента дозы, $H_p(10)$	30	10	мкЗв/ч
Удельный амбиентный эквивалент дозы, $h^*(10)$	85	—	пЗв·см <sup>2</sup>

Таблица 6. Вклад нейтронов различных энергий в плотность потока и МАЭД в точке 2

Нейтроны	Вклад в плотность потока, %	Вклад МАЭД, %
Быстрые	32	70
Промежуточные	36	28
Медленные	32	2

Из рис. 3, а также табл. 5, 6 можно сделать вывод, что вклад нейтронов различных энергий (тепловые, промежуточные, быстрые) в плотность потока в точке 2

примерно одинаков, однако вклад в МАЭД больше у быстрых нейтронов и достигает 70 %.

На рис. 4 изображен восстановленный энергетический спектр нейтронного излучения в точке 9 при использовании детекторов МКС-АТ1117М и ДСН-4.

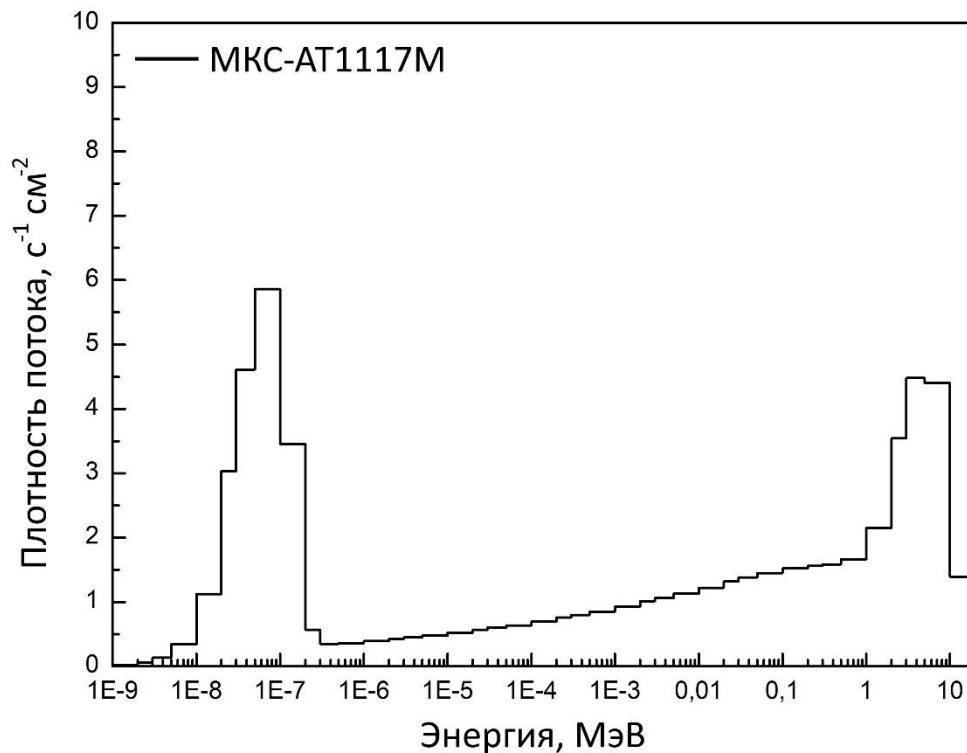


Рис. 4. Энергетическое распределение плотности потока нейтронного излучения в точке 9

Энергетический спектр нейтронов в точке 9 имеет сходство со спектром в точке 2, а именно имеются пики тепловых и быстрых нейтронов с энергией 3–5 МэВ. В точке 9 нейтронное излучение имеет меньшую плотность потока, что подтверждается результатами измерений скорости счета. Также можно сделать вывод о том, что источник нейтронного излучения располагается ближе к точке 2. Расчетные величины характеристик полей нейтронного излучения в точке 9 представлены в табл. 7, 8.

Таблица 7. Расчетные величины характеристик полей нейтронного излучения в точке 9

Параметр	Значение	Неопределенность	Единица измерения
Интегральная плотность потока, $\varphi$	59	1	$\text{с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$
Мощность амбиентного эквивалента дозы, $\dot{H}^*(10)$	15	5	мкЗв/ч
Мощность эффективной дозы, E	15	5	мкЗв/ч
Мощность индивидуального эквивалента дозы, $H_p(10)$	17	6	мкЗв/ч
Удельный амбиентный эквивалент дозы, $h^*(10)$	73	-	пЗв·см <sup>2</sup>

Таблица 8. Вклад нейтронов различных энергий в плотность потока и МАЭД в точке 9

Нейтроны	Вклад в плотность потока, %	Вклад МАЭД, %
Быстрые	27	78
Промежуточные	39	19
Медленные	34	3

Наблюдаются различия во вкладах нейтронов различных энергий в плотность потока в точках 2 и 9. Так, в точке 9 вклад быстрых нейтронов немного ниже. Однако вклады нейтронов различных энергий в МАЭД в точках 9 и 2 сопоставимые.

Заключительным этапом исследования являлось измерение МАЭД нейтронного излучения образцового источника Am-Be. Результаты измерений приведены в табл. 9, 10.

Таблица 9. Усредненные по трем измерениям с помощью ДСН-4 значения МАЭД нейтронного излучения от источника нейтронов Am-Be

Диаметр сферы, мм	Неопределенность, %	МАЭД, мкЗв/ч
0	5	28,3
70	5	50,6
120	5	74,9
200	5	79,9
300	5	56,5

Таблица 10. Усредненные по трем измерениям с помощью МКС-АТ1117М значения МАЭД нейтронного излучения от источника нейтронов Am-Be

Диаметр сферы, дюйм (мм)	Неопределенность, %	МАЭД, мкЗв/ч
0 (0)	5	27,4
3 (76,2)	5	27,1
4 (101,6)	5	39,0
6 (152,4)	5	50,5
8 (203,2)	5	44,9
10 (254)	5	62,1
12 (304,8)	5	27,8

При измерении МАЭД нейтронного излучения МКС-АТ1117М восстановление энергетического спектра нейтронов осуществлялось при помощи аттестованной методики ФР.1.38.2020.37361. Программное обеспечение ДСН-4 позволяет восстанавливать энергетический спектр нейтронов автоматически. На рис. 5 изображены энергетические спектры нейтронного излучения, полученные при помощи МКС-АТ1117М и ДСН-4.



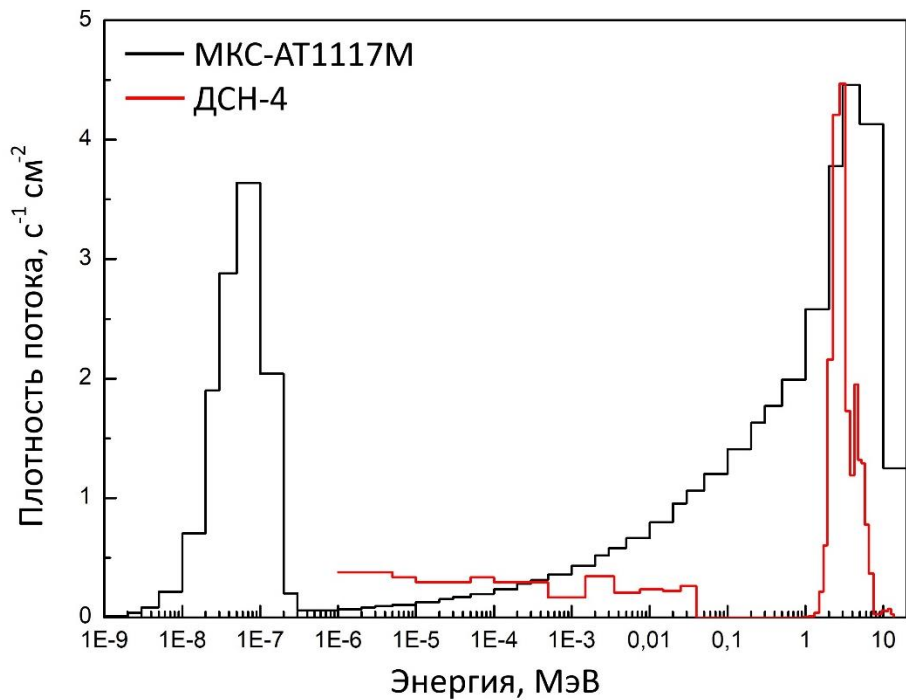


Рис. 5. Энергетическое распределение плотности потока нейтронного излучения источника нейтронного излучения Am-Be

Восстановив энергетический спектр источника Am-Be, можно сделать вывод: вклад нейтронов различных энергий (тепловые, промежуточные, быстрые) в плотность потока примерно одинаков.

На рис. 6 представлено сравнение энергетического распределения плотности потока нейтронов Am-Be источника, полученного в данной работе, и энергетического распределения плотности потока нейтронов Am-Be, опубликованного в справочнике МАГАТЭ [4].

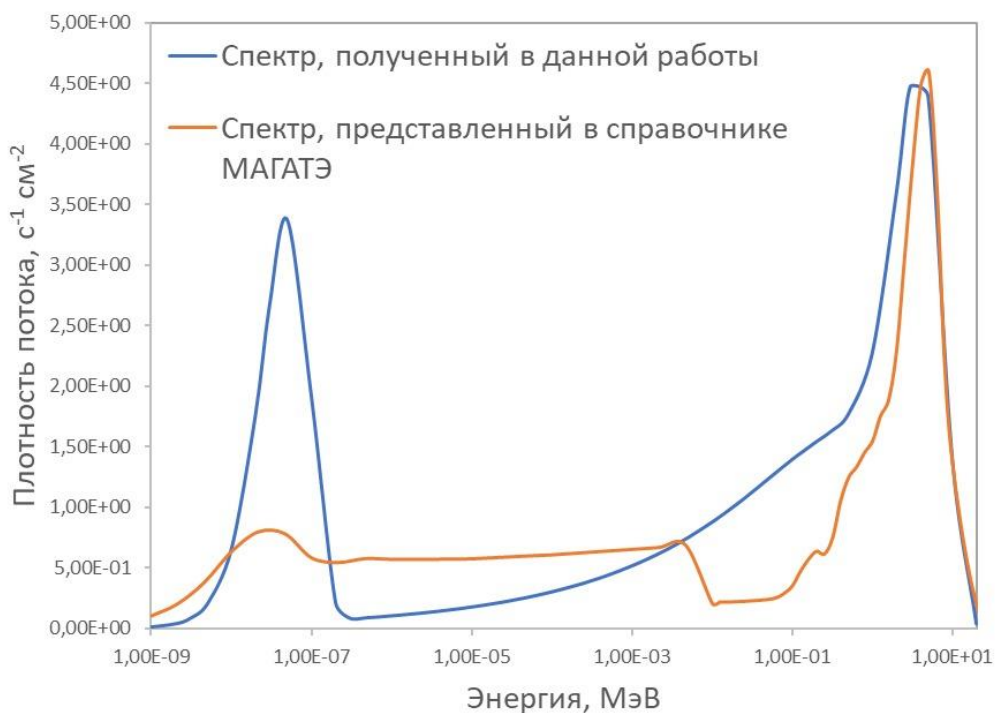


Рис. 6. Энергетическое распределение плотности потока нейтронного излучения источника нейтронного излучения Am-Be [4]

Расчетные величины характеристик полей нейтронного излучения от источника Am-Be представлены в табл. 11, 12.

Таблица 11. Расчетные величины характеристик полей нейтронного излучения от источника Am-Be

Параметр	Значение	Неопределенность	Единица измерения
Интегральная плотность потока, $\varphi$	43	1	$\text{с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$
Мощность амбиентного эквивалента дозы, $\dot{H}^*(10)$	16	5	мкЗв/ч
Мощность эффективной дозы, E	15	5	мкЗв/ч
Мощность индивидуального эквивалента дозы, $H_p(10)$	17	6	мкЗв/ч
Удельный амбиентный эквивалент дозы, $h^*(10)$	100	–	пЗв·см <sup>2</sup>

Таблица 12. Вклад нейтронов различных энергий в плотность потока и МАЭД от источника Am-Be

Нейтроны	Вклад в плотность потока, %	Вклад МАЭД, %
Быстрые	38	74
Промежуточные	35	25
Медленные	27	2

Результаты табл. 12 сопоставимы с результатами, полученными для точек 2 и 9.

#### 4. Обсуждение

Проведены измерения МАЭД нейтронного и гамма-излучения в различных точках в местах временного пребывания в ПХРО. По полученным результатам было определено теоретическое местоположение источника нейтронного излучения. В точках с наибольшими значениями МАЭД нейтронного и гамма-излучения были проведены измерения энергетического спектра нейтронного излучения с помощью двух различных детекторов. Были рассчитаны величины характеристик полей нейтронного излучения в точках 2 и 9, а также от источника Am-Be.

Измерения МАЭД нейтронного излучения от образцового источника дают различные результаты. Это связано с различным конструкционным решением дозиметров, различным размером чувствительного объема детектора, а также с различием их функций энергетической зависимости чувствительности (ЭЗЧ). Принятое значение величины (верное) МАЭД может быть получено только с помощью энергетического распределения плотности потока нейтронного излучения.

В данной работе представлены результаты, которые демонстрируют сложность и тщательность, необходимые для проведения измерений в нейтронных полях на рабочих местах. Знание характеристик энергии нейтронов и их направленного распределения имеет важное значение для обеспечения безопасности радиационно опасных объектов.

## 5. Выводы

1. Минимальное значение МАЭД нейтронного излучения наблюдается в точке 10 – 47,6 мкЗв/ч, максимальное значение МАЭД нейтронного излучения – в точке 2 – 112 мкЗв/ч.

2. Парциальный вклад МАЭД нейтронного излучения в суммарный МАЭД n+γ для точек 2 и 3 говорит о том, что источник нейтронов располагается ближе к данным точкам. Также стоит отметить, что для верхних точек (6–10) вклад МАЭД нейтронного излучения ниже, чем для нижних (1–5).

3. Теоретически можно предположить, что источник располагается в квадрате между точками 2, 3, 8, 9.

4. Энергетические спектры нейтронов в точках 2 и 9 и от источника Am-Be имеют пики тепловых и быстрых нейтронов с энергией 3–5 МэВ.

5. Основной вклад нейтронов различных энергий (тепловые, промежуточные, быстрые) в плотность потока примерно одинаков, однако вклад в МАЭД больше у быстрых нейтронов (не менее 70 %).

## 6. Благодарности

Авторы благодарят сотрудников ФГУП «РАДОН», которые помогли во время измерений.

## 7. Список литературы

1. ICRP, 1955. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection // Br. J. Radiol. Suppl. 6.
2. Правила радиационной безопасности при эксплуатации атомных станций (ПРБ АС-99).
3. ФГУП «Федеральный экологический оператор» (ФГУП «ФЭО») [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosfeo.ru>. (Дата обращения: 01.07.2022).
4. Compendium of neutron spectra and detector responses for radiation protection purposes: supplement to technical reports series no. 403. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2001.
5. Профессиональное облучение нейтронами на Белоярской АЭС / М. Д. Пышкина, А. В. Васильев, А. А. Екидин [и др.] // АНРИ. – 2021. – № 3(106). – С. 16–26. – DOI 10.37414/2075-1338-2021-106-3-16-26. – EDN AAAEQX.
6. Дозиметрия нейтронного излучения на рабочих местах персонала АО «Институт реакторных материалов» / М. Д. Пышкина, А. В. Васильев, А. А. Екидин [и др.] // Радиационная гигиена. – 2021. – Т. 14. – № 2. – С. 89–99. – DOI 10.21514/1998-426X-2021-14-2-89-99. – EDN FNFKUB.

### Сведения об авторах:

**Васильев Алексей Владимирович**, к. т. н., заведующий лабораторией Института промышленной экологии УрО РАН, ул. Софьи Ковалевской, 20 а, Екатеринбург. Эл. почта: [alexey.vasiljev@gmail.com](mailto:alexey.vasiljev@gmail.com).

**Екидин Алексей Акимович**, к.ф.-м.н., доцент, ведущий научный сотрудник Института промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия.

**Пышкина Мария Дмитриевна**, к. т. н., научный сотрудник Института промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия.

**Десятов Денис Дмитриевич**, инженер-исследователь Института промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия.

**Чугунов Семен Андреевич**, начальник службы РБ Свердловского отделения филиала «Уральский территориальный округ» ФГУП «РАДОН», ул. Корепина, 52, Екатеринбург, Россия.

## INSTRUMENTAL MEASUREMENTS FOR THE PURPOSE OF TESTING THE METHOD OF RESTORING THE SPECTRA OF NEUTRON FLUXES AT WORKPLACES AND PLACES OF TEMPORARY STAY IN THE RADIOACTIVE WASTES LANDFILL

A. V. Vasiliev <sup>1</sup>, A. A. Ekidin <sup>1</sup>, M. D. Pyshkina <sup>1</sup>, D. D. Desyatov <sup>1</sup>, S. A. Chugunov <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg

<sup>2</sup> FSUE RADON, Ekaterinburg, Russia

*Energy distribution studies of neutron radiation at workplaces and places of temporary stay in the radioactive waste storage facility (RWSF) have been carried out. Based on dose rate measurements of the neutron and gamma radiation, a cartogram of the dose rate field of neutron and gamma radiation in the storage capacity of neutron sources in the RWSF has been constructed. The estimation of the conditionally true value of the ambient dose equivalent rate and the fluence was performed. Based on the obtained data on the energy distribution of the neutron radiation flux density, the conditionally true values of the ambient dose equivalent  $H^*(10)$ , the individual dose equivalent  $H_p(10)$  and the integral neutron radiation flux density were determined both from the storage capacity of neutron sources in RWSF and from the Am-Be source.*

**Key words:** neutron radiation; energy distribution; spectra; individual dosimetric control.

### References

1. ICRP, 1955. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection // Br. J. Radiol. Suppl. 6.
2. Rules of radiation safety in the operation of nuclear power plants (PRB AS-99).
3. FSUE «Federal ecological operator» (FSUE «FEO») Available at: <https://rosfeo.ru>. (Accessed: 01.07.2022).
4. Compendium of neutron spectra and detector responses for radiation protection purposes: supplement to technical reports series no. 403. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2001.
5. Occupational exposure to neutrons at the Beloyarsk NPP / M. D. Pyshkina, A. V. Vasilyev, A. A. Ekidin [et al.] // ANRI. – 2021. – № 3(106). – P. 16–26. – DOI 10.37414/2075-1338-2021-106-3-16-26. – EDN AAAEQX.
6. Neutron dosimetry at workplaces of JC «Institute of Nuclear Materials» / M. D. Pyshkina, A. V. Vasilyev, A. A. Ekidin [et al.] // Radiation Hygiene. – 2021. – V. 14. – № 2. – P. 89–99. – DOI 10.21514/1998-426X-2021-14-2-89-99. – EDN FNFKUB.