

Энергетическое распределение плотности потока нейтронного излучения на рабочих местах Ростовской атомной станции

М.Д. Пышкина, М.Е. Васянович, К.Л. Антонов, Е.И. Назаров, А.А. Екидин

*Институт промышленной экологии Уральского отделения РАН,
620219 Россия, г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, 20*

Реферат. Представлено исследование нейтронных полей на Ростовской АЭС, включающее в себя описание энергетического распределения нейтронного излучения на рабочих местах. Исследование основано на актуальных научных данных, рекомендациях международных организаций, а также применении современных приборов и методик. Работы проводились на 16-ти рабочих местах третьего и четвертого энергоблоков, а также в здании спецкорпуса Ростовской АЭС. Результаты измерений мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) нейтронного излучения, выполненные тремя различными средствами измерений, демонстрируют значительный разброс данных. Установлено, что соотношения показаний приборов МКС-АТ1117М с детекторами БДКН-03 и БДКН-06 варьируются в пределах 0,8–4,2, а для комбинации МКС-АТ1117М с БДКН-01 и БДКН-06 – в диапазоне 1,7–15,6. Средняя энергия нейтронов по плотности потока в исследуемых помещениях составляет от 0,002 до 1,9 МэВ. На основании экспериментальных данных определены достоверные значения МАЭД $H^*(10)$ и индивидуального эквивалента дозы $H_p(10)$. В целях совершенствования системы радиационного контроля разработана методика оценки мощности амбиентного эквивалента дозы и эффективной дозы нейтронного облучения персонала Ростовской АЭС.

Ключевые слова: нейтронное излучение, энергия нейтронов, доза облучения, дозиметр, экспонирование.

Для цитирования: Пышкина М.Д., Васянович М.Е., Антонов К.Л., Назаров Е.И., Екидин А.А. Энергетическое распределение плотности потока нейтронного излучения на рабочих местах Ростовской атомной станции. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2026;3:142–153. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2026.3.10>

Введение

В соответствии с международно принятой практикой ведется непрерывная работа по минимизации любых факторов негативного воздействия на здоровье работников

атомных станций. В случае воздействия ионизирующего излучения порядок работы с каждым из источников в отдельности определен и регламентирован таким образом, чтобы не были превышены контрольные уровни облучения персонала.

Соблюдение регламентированных годовых пределов облучения обеспечивается посредством консервативного подхода, что зачастую приводит к значительному завышению реальных показателей. Однако минимизация избыточной консервативности оценок может быть достигнута за счет использования современных научных данных, усовершенствованных методов дозиметрии и средств измерений, обеспечивающих учет ключевых параметров нейтронных полей с целью повышения точности определения дозовых нагрузок.

Точное определение дозовых нагрузок нейтронного излучения на персонал сохраняет свою научно-практическую значимость для мировой ядерной энергетики. Замыкание ядерного топливного цикла форсировало разработку технологий по производству, применению и переработке МОКС-, РЕМИКС- и СНУП-топлива. Наряду с планами по сооружению новых реакторных установок на территории РФ [1] развивается и термоядерная энергетика. Применение всех вышеперечисленных технологий невозможно без оценки радиационного, а именно, нейтронного воздействия на привлекаемый персонал. Проведенные модельные исследования, включающие в себя сравнительный анализ показаний индивидуальных дозиметров в нейтронных полях с различными энергетическими спектрами, выявили недооценку дозы в 1,5 раза и ее переоценку в сотни раз. При этом разница в оценке эффективной дозы в различных геометриях облучения достигает нескольких раз [2].

В условиях калибровки дозиметрического оборудования не предоставляется возможным воспроизвести весь спектр параметров нейтронных полей, характерных для реальных условий эксплуатации. На ряде объектов атомной отрасли были определены энергетические и угловые распределения плотности потока нейтронов на отдельных рабочих местах. Сравнительный анализ показал, что расчетные (условно-истинные) значения дозовых величин существенно расходятся с экспериментальными данными, полученными при измерениях амбиентного и индивидуального дозовых эквивалентов [3 – 7]. Указанные расхождения обуславливают необходимость применения поправочных коэффициентов при оценке эффективной дозы нейтронного облучения персонала [8].

Поправочные коэффициенты определяются конкретными параметрами нейтронного облучения персонала и являются индивидуальными для каждого класса дозиметрических приборов. Экспериментальные исследования демонстрируют, что термолюминесцентные дозиметры систематически переоценивают дозовые нагрузки в реальных производственных условиях, требуя применения поправочных коэффициентов в интервале 0,003–0,75 [9].

Для электронных дозиметров прямого считывания характерна неоднозначная зависимость показаний от энергетического спектра – в области высокоэнергетических нейтронов наблюдается тенденция к завышению регистрируемых значений, тогда как для нейтронов промежуточных энергий фиксируется их существенное занижение [9].

В условиях нормальной эксплуатации атомных электростанций возможные сценарии облучения персонала нейтронными полями на рабочих местах поддаются категоризации по типам источников ионизирующего излучения – технологические операции в помещениях, примыкающих к активной зоне реакторной установки, включая

посещаемые отсеки гермооболочки; манипуляции с радиоизотопными источниками быстрых нейтронов (преимущественно Pu-Be, в меньшей степени Cf); работы, связанные с обращением со свежим и отработавшим ядерным топливом.

В рамках одной категории рабочих мест наблюдаются существенные вариации энергетических спектров нейтронного излучения, обусловленные различиями в условиях рассеяния, отражения и поглощения нейтронов. Данное обстоятельство обуславливает необходимость индивидуального определения условно-истинных значений как амбиентного, так и индивидуального дозовых эквивалентов для каждого конкретного рабочего места и каждого сценария облучения.

Проведенные исследования характеристик нейтронных полей на энергоблоках атомных электростанций выявили необходимость применения поправочных коэффициентов, значения которых определяются как спецификой конкретных рабочих мест, так и особенностями используемых дозиметрических систем [6].

Существующая система радиационного контроля сталкивается с рядом методологических сложностей, обусловленных многообразием применяемых средств дозиметрии; наличием на каждом энергоблоке множества (до нескольких десятков) рабочих мест с нейтронным излучением; необходимостью обеспечения радиационной безопасности значительного числа сотрудников, выполняющих регламентные работы в условиях нейтронного облучения.

Данные обстоятельства требуют научно-обоснованной оптимизации системы индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) для обеспечения его своевременности и достоверности. В качестве успешного примера решения указанных задач можно привести модернизацию системы ИДК на Нововоронежской АЭС, где был реализован комплекс исследовательских мероприятий с последующей интеграцией полученных результатов в практическую деятельность службы радиационной безопасности [5].

Цель работы – решение проблемы, связанной с тем, что при калибровке дозиметрических приборов невозможно создать все спектры распределения нейтронов по энергиям, характерным для различных рабочих мест. А это создает большую неопределенность в оценке дозы работника при нейтронном облучении. В рамках представленного исследования были поставлены следующие задачи:

- подтверждение необходимости дозиметрического контроля нейтронного облучения на установленных рабочих местах;
- описание нейтронных полей на рабочих местах персонала Ростовской АЭС.

Приборы и методы

В рамках выполненных исследований проанализированы виды работ, выполняемых на Ростовской АЭС, при которых возможно облучение персонала нейтронным излучением. Выделено 82 помещения на четырех энергоблоках Ростовской АЭС, где возможно присутствие нейтронного излучения. В рамках оценки уровня облучения персонала определялись дозиметрические характеристики нейтронных полей: МАЭД нейтронного излучения, плотность потока нейтронов, энергетическое распределение плотности потока нейтронов.

При нормальной эксплуатации Ростовской АЭС облучение работников нейтронами возможно в следующих случаях: при работе внутри герметичного объема реактора как

во время его работы, так и во время останова, при работе с источниками нейтронов, в том числе с оборудованием, содержащим в его составе радионуклидные источники (боромеры с использованием PuBe радионуклидного источника), работы с отработавшим ядерным топливом (далее ОЯТ). Для описания радиационной обстановки на рабочих местах применялись следующие средства измерения (рис. 1):

- дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М с БДКГ-04 для измерения МАЭД рентгеновского и гамма-излучения;
- дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М с БДКН-01 для измерения МАЭД нейтронного излучения;
- дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М с БДКН-03 для измерения МАЭД нейтронного излучения;
- дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М с БДКН-06 в сфере-замедлителе нейтронов 10 дюймов для измерения МАЭД и энергетического распределения плотности потока нейтронного излучения.

Все приборы прошли поверку в поле аттестованного PuBe -источника. Условно истинное значение МАЭД и плотность потока определены с учетом восстановленного энергетического распределения плотности потока нейтронов по аттестованной в установленном порядке методике измерений.

Экспонирование индивидуальных дозиметров нейтронного излучения проводилось на гетерогенном фантоме человека.

Для определения энергии нейтронного излучения на обследованных рабочих местах применялись дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М с блоком детектирования БДКН-06 и двенадцать полиэтиленовых сфер-замедлителей нейтронов плотностью $0,96 \text{ г/см}^3$ различного диаметра: 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 6; 7; 8; 9; 9,5; 10; 12 дюймов.

Энергетическое распределение плотности потока нейтронного излучения использовалось для получения основных характеристик, описывающих поле нейтронного излучения: средняя энергия по спектру, интегральная плотность потока, удельный амбиентный эквивалент дозы, МАЭД.

Интегральная плотность потока нейтронного излучения определяется как [10]

$$\Phi = \int_0^{\infty} \Phi(E) dE, \quad (1)$$

где $\Phi_E(E)$ – дифференциальная плотность потока в зависимости от энергии нейтронного излучения.



Рис. 1. Дозиметры-радиометры:

- а) МКС-АТ1117М с БДКГ-04;
 б) МКС-АТ1117М с БДКН-01;
 в) МКС-АТ1117М с БДКН-03;
 г) МКС-АТ1117М с БДКН-06

Средняя энергия, согласно [11], определяется как

$$\bar{E} = \frac{1}{\Phi} \int_0^{\infty} E \cdot \Phi_E(E) dE, \quad (2)$$

где Φ – интегральная плотность потока.

Мощность AMBIENTного эквивалента дозы определяется как [10]

$$\dot{H}^*(10) = \int_0^{\infty} h^*(10, E) \Phi_E(E) dE, \quad (3)$$

где $h^*(10, E)$ – удельный AMBIENTный эквивалент дозы в зависимости от энергии нейтронного излучения.

В настоящей работе величина МАЭД, рассчитанная по формуле (3) на основании полученных экспериментальных данных о спектре энергетического распределения плотности потока нейтронного излучения, принимается в качестве условно истинного значения МАЭД.

Результаты и обсуждения

На Ростовской АЭС введены в эксплуатацию и эксплуатируются четыре энергоблока с типом реакторной установки ВВЭР-1000/В-320. Предполагается, что в идентичных помещениях всех четырех энергоблоков будут наблюдаться аналогичные по характеристикам поля нейтронного излучения. Изначально на этапе анализа технического обоснования безопасности энергоблока № 1, отчета обоснования безопасности энергоблоков № 2, 3 и 4 Ростовской АЭС, а именно, глав «Защита от радиации» в части существующих источников радиации, их радионуклидного состава, энергетических спектров излучений, было выделено 82 помещения, в том числе в специальном корпусе, где возможно облучение персонала нейтронным излучением. При выполнении непосредственных работ на территории Ростовской АЭС в 26-ти помещениях зафиксировано наличие нейтронного излучения, не включая аналогичные помещения на остальных энергоблоках. Все работы, проводящиеся в данных помещениях, можно разделить на следующие категории:

- работы в гермообъеме реактора (при работе реактора на мощности);
- работы в помещениях, примыкающих к биологической защите реактора (при работе реактора на мощности);
- работы с или вблизи НАР-Б (анализаторы уровня и концентрации борной кислоты с использованием источника быстрых нейтронов);
- работы с ОЯТ.

Дозиметрические измерения переносными приборами показали, что при работе со свежим топливом в части помещений, примыкающих к реакторной установке, МАЭД нейтронного излучения не превышает 0,13 мкЗв/ч. Такие помещения были исключены из дальнейших исследований. На других рабочих местах обследованных помещений значения мощности дозы зависят от расстояния до источника нейтронов и приме-

Энергетическое распределение плотности потока нейтронного излучения на рабочих местах
Ростовской атомной станции

няемого средства измерения. Результаты измерений МАЭД различными приборами представлено в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты измерения МАЭД различными дозиметрами-радиометрами
и оценка условно истинного МАЭД**

№ п/п	Номер помещения	Измеренная МАЭД					Рассчитанная МАЭД
		$H'(10)_{\text{нейтрон}}$ (БДКН-06)	$H'(10)_{\text{нейтрон}}$ (БДКН-01)	$H'(10)_{\text{нейтрон}}$ (БДКН-03)	$H'(10)_{\text{гамма}}$ (БДКГ-04)	$H'(10)_{\text{гамма}}$ (БОИ4)	$H'(10)_{\text{нейтрон}}$
1	3А-023/1	–	–	–	110	–	–
2	3А-033	–	70	35	4,6	–	–
3	3А-123/1	5,5	11,2	5,5	2,2	2,8	5,6
4		24,8	43	19,5	5,0	5,6	27,3
5		96	172	90	9,5	5,8	95,8
6	3А-123/2	–	11,0	8,8	0,8	–	–
7		–	63	43	4,6	–	–
8		–	100	100	3,5	–	–
9	3А-123/3	–	21,0	10	2,3	–	–
10		–	63	42	7,2	–	–
11		–	42	32	8,2	–	–
12	3А-124/1	–	8,5	3,0	0,7	–	–
13	3А-124/2	–	10	3,8	0,7	–	–
14	3А-319	46	205	193	23,5	17,3	52,1
15	3А-328	5,7	31	12	11,7	21,5	6,2
16		–	30	16	26	–	–
17		–	18	7,5	32	–	–
18	3А-336 (под РУ)	0,16	2,5	0,04**	0,096	0	0,2
19	4ГА-405/3 (ист.НАР12М)	–	10,5	3,8	0,26	–	–
20	С-133/1	–	171	105	13,0	–	–
21	С-133/2	–	130	86	8,5	–	–
22	С-133/3	–	270	150	15,5	–	–
23	Б-121	30,1	141	39	2,9	3,5	28,8
24	М-118 (УСТ, одна ТВС со свежим топливом)	–	0,13	0,05	8,1	–	–
25	ГА-701	13,8	130	–	6,5	13,6	3,6
26	ГА-504/2	17,1	220	–	10	16,6	5,7

* – измерения не были проведены

** – результат измерения ниже нижнего предела измерения

Конструктивные различия переносных дозиметров-радиометров нейтронов в толщине и геометрии однотипного материала замедлителя, в который помещен детектор тепловых нейтронов, имеют сильное влияние на формируемую энергетическую зависимость чувствительности прибора (отклик прибора на нейтроны различной энергии) и приводят к разнице результатов измерения МАЭД. Это связано с тем, что при поверке прибора и на рабочем месте энергетические распределения плотности потока нейтронного излучения отличаются. Так предполагается, что наиболее близким к условно истинному значению МАЭД является результат измерения МКС-АТ1117М с БДКН-06 ввиду близости своей энергетической зависимости чувствительности к функции перехода от плотности потока к МАЭД. Было определено отношение результатов измерений средств измерений к результатам измерения МКС-АТ1117М с БДКН-06. Так отношение может как принимать значение менее единицы, означая недооценку МАЭД средством измерения, так и значение выше единицы, означая переоценку МАЭД средством измерения. Отношения МКС-АТ1117М с БДКН-03 варьируются в диапазоне от 0,8 до 4,2. Минимальное значение отношения наблюдается в помещении 3А-336 (под РУ) – 0,25. Это связано с тем, что результат измерения средствами измерения лежит у нижней границы диапазона измерения. Результат измерения МКС-АТ1117М с БДКН-03 составил 0,04 мкЗв/ч, что ниже нижней границы диапазона измерений 0,1 мкЗв/ч. Отношения в диапазоне 0,7 – 1,5 не могут говорить о статистически значимом отличии результатов измерений между МКС-АТ1117М с БДКН-06 и БДКН-03, так как это укладывается в погрешность измерений данных СИ. Для МКС-АТ1117М с БДКН-03 отношение 0,8 – 0,9 наблюдается для помещения 3А-123/1, где размещены НАР-Б, и отношение – 1,3 для помещения Б-121 (хранилище источников). Отношения МКС-АТ1117М с БДКН-01 варьируются в диапазоне от 1,7 до 15,6. Отношения в диапазоне 0,63 – 1,69 не могут говорить о статистически значимом отличии результатов измерений между МКС-АТ1117М с БДКН-06 и БДКН-01, так как это укладывается в погрешность измерений данных СИ.

Результаты измерений энергетического распределения нейтронного излучения в помещениях Ростовской АЭС представлены на рис. 2. Все энергетические распределения могут быть разделены на три группы: спектры с преобладанием быстрых нейтронов, спектры с преобладанием промежуточных и медленных нейтронов и спектры с наличием группы как быстрых, так и медленных нейтронов. Характеристики нейтронных полей на рабочих местах Ростовской АЭС представлены в табл. 2.

Разброс на порядок величин результатов сличения значений МАЭД нейтронного облучения в фиксированных точках обследованных рабочих мест, полученных поверенными дозиметрами-радиометрами различного типа, показывает масштаб неопределенности оценки дозы без применения обоснованного поправочного коэффициента, учитывающего изменение энергетического спектра нейтронного излучения в реальных условиях измерения, зависящего от применяемого средства измерения.

Данные об энергетическом распределении плотности потока нейтронного излучения позволяют рассчитать основные характеристики, описывающие поле нейтронного излучения: среднюю энергию по спектру, интегральную плотность потока, удельный AMBIENT эквивалент дозы, условно истинное значение МАЭД и условно истинное значение мощности индивидуального эквивалента дозы (МИЭД). Характеристики полей нейтронного излучения на Ростовской АЭС представлены в табл. 2.

Энергетическое распределение плотности потока нейтронного излучения на рабочих местах Ростовской атомной станции

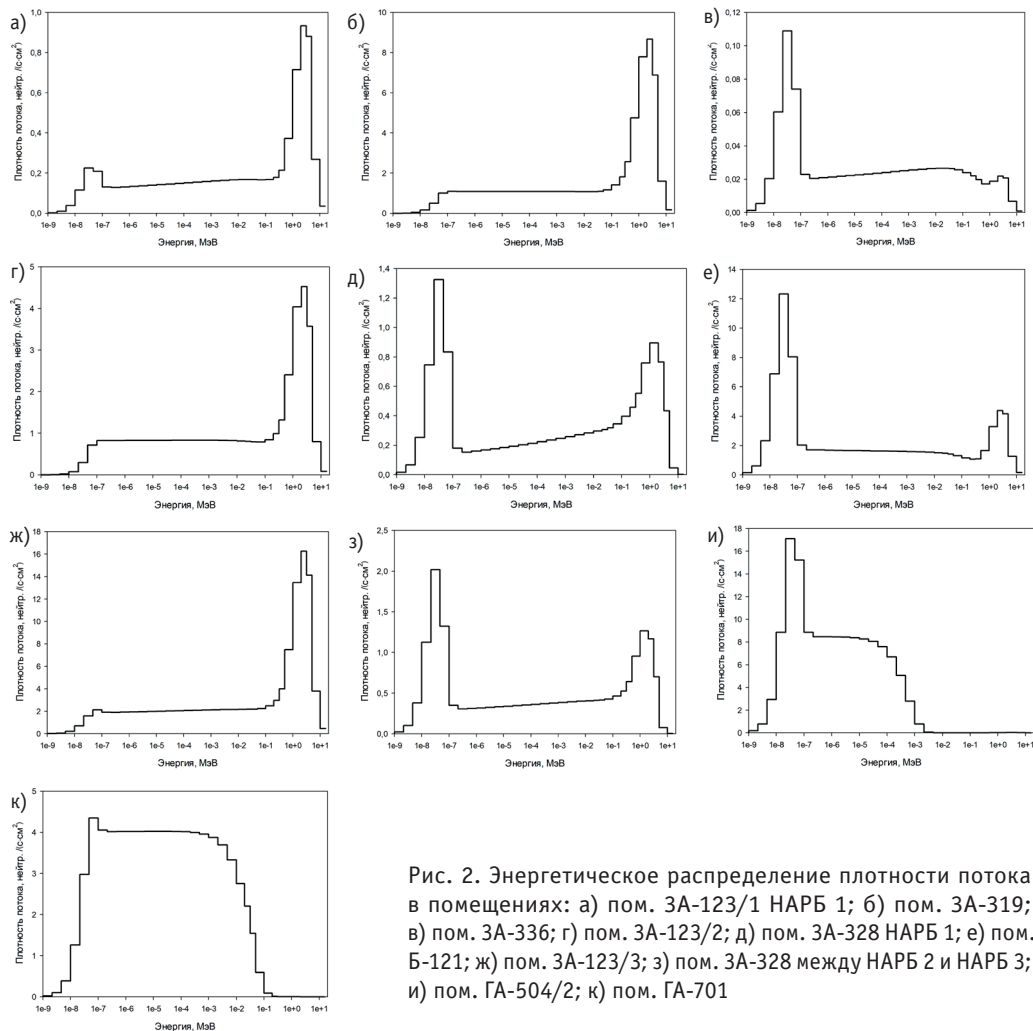


Рис. 2. Энергетическое распределение плотности потока в помещениях: а) пом. ЗА-123/1 НАРБ 1; б) пом. ЗА-319; в) пом. ЗА-336; г) пом. ЗА-123/2; д) пом. ЗА-328 НАРБ 1; е) пом. Б-121; ж) пом. ЗА-123/3; з) пом. ЗА-328 между НАРБ 2 и НАРБ 3; и) пом. ГА-504/2; к) пом. ГА-701

Таблица 2

Характеристики полей нейтронного излучения на Ростовской АЭС

№	Помещение	Средняя энергия спектра, МэВ	Плотность потока, нейтр./с.см ²	$H^*(10)$, мкЗв/ч	Мощность индивидуального эквивалента дозы, мкЗв/ч
1	ЗА-123/1	1,7	7,2	5,6	6,1
2	ЗА-123/2	1,5	35	27,3	30
3	ЗА-123/3	1,9	109	95,8	104
4	ЗА-319	1,8	58	52,1	57
5	ЗА-328, НАРБ 1	0,7	12	6,2	7
6	ЗА-238, НАРБ 2-3	0,7	18	8,5	9,5
7	Б-121	0,8	79	28,8	31
8	ЗА-336	0,4	0,9	0,2	0,27
9	ГА-701	0,005	75	3,6	4,2
10	ГА-504/2	0,002	136	5,7	4,3

Выводы

В ходе исследований подтверждено значимое отличие результатов измерений мощности дозы нейтронного облучения в одной и той же точке пространства, выполненных поверенными средствами измерения различной конструкции с разными показателями отклика детектора нейтронов на каждый диапазон энергий. Такие различия могут достигать 15,6 раз.

Спектры энергий нейтронов на обследованных рабочих местах энергоблоков Ростовской АЭС, в основном, повторяют спектры поверочного (калибровочного) источника для операций по обслуживанию НАР-Б, в состав которых входят Pu-Be-источники. Кардинально отличаются спектры нейтронного излучения, полученные в гермообъеме реакторной установки и в помещении под ней.

С учетом полученных спектрометрических характеристик нейтронных полей для каждого рабочего места определены поправочные коэффициенты, учитывающие различие между поверочным (калибровочным) спектром и полем, присутствующим на рабочем месте персонала.

Выполненные исследования позволяют провести совершенствование системы индивидуального дозиметрического контроля на основе цикла улучшений: новые знания, экспериментальные исследования, внедрение результатов исследований, регламентация деятельности для снижения облучения работников, анализ полученных данных.

Финансирование

Исследование выполнено за счет субсидий Минобрнауки РФ на выполнение научной темы FUMN-2024-0001.

Литература

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 30.12.2024 г. № 4153-р.
2. Пышкина М.Д., Никитенко В.О., Жуковский М.В., Екидин А.А. Неопределенность результатов измерений индивидуальных дозиметров нейтронного излучения на рабочих местах. *АНРИ*. 2018;4(95):15–23.
3. Пышкина М.Д., Васильев А.В., Екидин А.А., Назаров Е.И., Романова М.А., Гуринович В.И., Комар Д.И., Кожемякин В.А. Дозиметрия нейтронного излучения на рабочих местах персонала АО «Институт реакторных материалов». *Радиационная гигиена*. 2021;14(2):89–99. DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-2-89-99>
4. Pyshkina M.D., Vasilyev A.V., Nazarov E.I., Ekin A.A. Characteristics of neutron fields around biological shielding of research nuclear reactors in Russia. *Radiation Measurements*. 2025;180:107325. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2024.107325>
5. Екидин А.А., Поваров В.П., Росновский С.В., Сизова Л.В., Пышкина М.Д., Васильев А.В., Васянович М.Е., Назаров Е.И., Пудовкин А.В., Кожемякин В.А. Совершенствование системы дозиметрического контроля нейтронного облучения персонала Нововоронежской атомной станции. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2023;1:82–95. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2023.1.07>
6. Pyshkina M., Vasilyev A., Ekin A., Nazarov E., Nikitenko V., Pudovkin A. Study of neutron energy and directional distribution at the Beloyarsk NPP selected workplaces. *Nuclear Engineering and Technology*. 2021;53(5):1723–1729. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.net.2020.10.015>

7. Пышкина М.Д., Жуковский М.В., Васильев А.В., Екидин А.А., Назаров Е.И., Романова М.А., Аникин М.Н. Характеристика нейтронных полей на исследовательских ядерных реакторах бассейного типа. *Радиационная гигиена*. 2022;15(4):58–68. DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-4-58-68>

8. Алексеев А.Г., Пикалов В.А., Алексеев П.А. Поправочные коэффициенты при измерении мощности амбиентного эквивалента дозы нейтронов. *АНРИ*. 2021;4(107):32–40. DOI: <https://doi.org/10.37414/2075-1338-2021-107-4-32-40>

9. Пышкина М.Д., Васильев А.В., Екидин А.А., Назаров Е.И., Пудовкин А.В., Никитенко В.О., Гуринович В.И., Комар Д.И., Кожемякин В.А. Профессиональное облучение нейтронами на Белоярской АЭС. *АНРИ*. 2021;3(106):16–26. DOI: <https://doi.org/10.37414/2075-1338-2021-106-3-16-26>

10. International standard ISO 8529. Switzerland, International Standard Organization, 2001.

Поступила в редакцию 22.01.2026

После доработки 15.06.2026

Принята к опубликованию 10.09.2026

Авторы

Пышкина Мария Дмитриевна, научный сотрудник, к.т.н.,

E-mail: mdpyshkina@gmail.com

Васянович Максим Евгеньевич, научный сотрудник, к.ф.-м.н.,

E-mail: vasyanovich_maks@mail.ru

Антонов Константин Леонидович, научный сотрудник, к.ф.-м.н.,

E-mail: antonov.k@gmail.com

Назаров Евгений Игоревич, научный сотрудник, к.т.н.,

E-mail: e.nazarov1005@gmail.com

Екидин Алексей Акимович, ведущий научный сотрудник, к.ф.-м.н.,

E-mail: ekidin@mail.ru

UDC 614.876:539.16.08:061.6-051

Energy Distribution of Neutron Radiation Flux Density at Workplaces of the Rostov Nuclear Power Plant

Pyshkina M.D., Vasyanovich M.E., Antonov K.L., Nazarov E.I., Ekin A.A.

*Institute of Industrial Ecology of Ural Branch of Russian Academy of Science,
20 S. Kovalevskaya St., 620219 Yekaterinburg, Russia*

Abstract

The article presents a study of neutron fields at the Rostov Nuclear Power Plant (NPP), including an analysis of the energy distribution of neutron radiation at workplaces. The research is based on current scientific data, recommendations from international organizations, and the application of modern instruments and methodologies. Measurements were conducted at 16 workplaces within units 3 and 4, as well as in a special auxiliary building of the Rostov NPP. The results of ambient dose equivalent ($H'(10)$) measurements for neutron radiation, obtained using three different instruments, show significant data variability. It was found that the ratios of readings from the MKS-AT1117M device with BDKN-03 and BDKN-06 detectors range from 0.8 to 4.2, while for the MKS-AT1117M with

BDKN-01 and BDKN-06 detectors, the ratios vary between 1.7 and 15.6. The average neutron energy values in the surveyed areas range from 0.002 to 1.9 MeV. Based on the experimental data, reliable values of the ambient dose equivalent $H'(10)$ and personal dose equivalent $H_p(10)$ were determined. To enhance radiation monitoring, a methodology for assessing the ambient dose equivalent rate and the effective dose of neutron exposure for personnel at the Rostov NPP has been developed and approved.

Keywords: neutron radiation, neutron energy, radiation dose, dosimeter, exposure.

For citation: Pyshkina M.D., Vasyanovich M.E., Antonov K.L., Nazarov E.I., Ekin A.A. Energy Distribution of Neutron Radiation Flux Density at Workplaces of the Rostov Nuclear Power Plant. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2026;3:142–153. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2026.3.10> (in Russian).

References

1. Decree of the Government of the Russian Federation No. 4153-r dated December 30, 2024.
2. Pyshkina M.D., Nikitenko V.O., Zhukovsky M.V., Ekin A.A. Uncertainty in measurement results of individual neutron dosimeters at workplaces. *ANRI*. 2018;4(95):15–23.
3. Pyshkina M.D., Vasilyev A.V., Ekin A.A., Nazarov E.I., Romanova M.A., Gurinovich V.I., Komar D.I., Kozhemyakin V.A. Neutron dosimetry at workplaces of JSC "Institute of Reactor Materials" personnel. *Radiation Hygiene*. 2021;14(2):89–99. DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-2-89-99> (in Russian).
4. Pyshkina M.D., Vasilyev A.V., Nazarov E.I., Ekin A.A. (2025). Characteristics of neutron fields around biological shielding of research nuclear reactors in Russia. *Radiation Measurements*. 2025;180:107325. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2024.107325>
5. Ekin A.A., Povarov V.P., Rosnovsky S.V., Sizova L.V., Pyshkina M.D., Vasilyev A.V., Vasyanovich M.E., Nazarov E.I., Pudovkin A.V., Kozhemyakin V.A. Improvement of the neutron dosimetry system for personnel at the Novovoronezh Nuclear Power Plant. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2023;1:82–95. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2023.1.07> (in Russian).
6. Pyshkina M., Vasilyev A., Ekin A., Nazarov E., Nikitenko V., Pudovkin A. Study of neutron energy and directional distribution at the Beloyarsk NPP selected workplaces. *Nuclear Engineering and Technology*. 2021;53(5):1723–1729. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.net.2020.10.015>
7. Pyshkina M.D., Zhukovsky M.V., Vasilyev A.V., Ekin A.A., Nazarov E.I., Romanova M.A., Anikin M.N. Characteristics of neutron fields at pool-type research nuclear reactors. *Radiation Hygiene*. 2022;15(4):58–68. DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-4-58-68> (in Russian).
8. Alekseev A.G., Pikalov V.A., Alekseev P.A. Correction factors in the measurement of ambient dose equivalent of neutrons. *ANRI*. 2021;4(107):32–40. DOI: <https://doi.org/10.37414/2075-1338-2021-107-4-32-40> (in Russian).
9. Pyshkina M.D., Vasilyev A.V., Ekin A.A., Nazarov E.I., Pudovkin A.V., Nikitenko V.O., Gurinovich V.I., Komar D.I., Kozhemyakin V.A. Occupational neutron exposure at the Beloyarsk NPP. *ANRI*. 2021;3(106):16–26. DOI: <https://doi.org/10.37414/2075-1338-2021-106-3-16-26> (in Russian).
10. International standard ISO 8529. Switzerland, International Standard Organization, 2001.

Authors

Maria D. Pyshkina, Researcher, Cand. Sci. (Engineering),

E-mail: mdpyshkina@gmail.com

Maksim E. Vasyanovich, Researcher, Cand. Sci. (Phys.-Math.),

E-mail: vasyanovich_maks@mail.ru

Konstantin L. Antonov, Researcher, Cand. Sci. (Phys.-Math.),

E-mail: antonov.k@gmail.com

Evgeniy I. Nazarov, Researcher, Cand. Sci. (Engineering),

E-mail: e.nazarov1005@gmail.com

Aleksey A. Ekin, Leading Researcher, Cand. Sci. (Phys.-Math.),

E-mail: ekin@mail.ru