

3. МВИ. МН. 5099-2014. Методика измерений индивидуального эквивалента дозы фотонного излучения с использованием дозиметров из состава комплекса дозиметрического термолюминесцентного «Доза-ТЛД»: методика измерений / научно-производственное предприятие «Доза». – Минск, 2019. – 15 с.

4. Инструкция 2.6.1. 11-11-12-2003 «Организация и проведение индивидуального дозиметрического контроля в лечебно-профилактических учреждениях». – Минск, 2003. – 9 с.

ЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАНИЙ ДОЗИМЕТРА ОТ ПОЛОЖЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ИСТОЧНИКА НА МАЛЫХ РАССТОЯНИЯХ

THE DEPENDENCE OF THE DOSIMETER READINGS ON THE POSITION RELATIVE TO THE SOURCE AT SHORT DISTANCES

В. В. Бондарь^{1,2}, О. М. Хаджинова^{1,2}

V. V. Bondar^{1,2}, O. M. Khajynava^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

nrs@iseu.by, vasilybondar58@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

При контроле радиационной обстановки используется дозиметрическое оборудование, откалиброванное для определения операционной величины. Проводилась оценка мощности амбиентного эквивалента дозы от радионуклидных источников на различном расстоянии при падении излучения на торец или боковую поверхность детектора. Сравнение теоретических и экспериментальных значений показало занижение мощности амбиентного эквивалента дозы дозиметром-радиометром МКС-АТ1125 на малых расстояниях между источником и детектором. Показана необходимость учета геометрии измерений при радиационном контроле.

Radiation monitors for area monitoring purposes are calibrated in terms of operational quantities. The rate of the ambient dose equivalent from radionuclide sources at different distances was estimated when irradiating the end or side surfaces of the detector. A comparison of theoretical and experimental values showed an underestimation of the ambient dose equivalent by the radiation monitor AT1125 at short distances between the source and the detector. The necessity of taking into account the geometry of measurements during radiation monitoring is shown.

Ключевые слова: амбиентный эквивалент дозы, дозиметр, контроль радиационной обстановки.

Keywords: ambient dose equivalent, dosimeter, area monitoring.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-191-194>

Дозиметрические величины, используемые в радиационной защите в целях установления ограничения доз, называются нормируемыми. Для их оценки в ходе радиационного контроля предназначены операционные величины, которые максимально возможно приближены в стандартных условиях облучения к нормируемым величинам и предназначены для их консервативной оценки. Дозиметрическое оборудование делится на оборудование, предназначенное для индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) и контроля радиационной обстановки. При этом используются разные операционные величины – эквиваленты доз.

Для оценки эффективной дозы внешнего облучения в случае ИДК используется значение операционной величины – индивидуальный эквивалент дозы $H_p(d)$. Для контроля радиационной обстановки используется значение амбиентного эквивалента дозы $H^*(d)$. Параметр d определяет применение операционной для оценки нормируемой величины:

- при $d=10$ мм величины $H^*(10)$ и $H_p(10)$ соответствуют эффективной дозе;
- при $d=3$ мм величины $H^*(3)$ и $H_p(3)$ соответствуют эквивалентной дозе хрусталика глаза;
- при $d=0.07$ мм величины $H^*(0,07)$ и $H_p(0,07)$ соответствуют эквивалентной дозе кожи [1].

Для контроля радиационной обстановки в случае сильнопроникающего излучения применяется операционная величина амбиентный эквивалент дозы $H^*(10)$. При этом используется концепция расширенного и выровненного поля, получаемый эквивалент не зависит от углового распределения поля излучения.

Для калибровки дозиметрического оборудования используются конверсионные коэффициенты, которые связывают значение мощности эквивалента дозы на определенной глубине d с мощностью кермы в воздухе в точке. Конверсионные коэффициенты зависят от вида ионизирующего излучения и его энергии. Соотношения между базовыми и операционными величинами, используемыми в радиационной защите при внешнем облучении, приведены в рекомендациях МКРЗ №74 [2]. Имеет место ограничение в том, что сфера МКРЕ не может быть создана и, соответственно, не существует возможности экспериментально проверить значения конверсионных коэффициентов. Приборы, используемые для измерения амбиентного эквивалента дозы, должны иметь изотропный отклик. Полученное с помощью откалиброванного дозиметра значение эквивалента дозы $H^*(10)$ является консервативной оценкой эффективной дозы облучения для полей излучения, имеющих практическое значение.

В ходе эксперимента проводилась оценка мощности дозы от радионуклидных источников. Для проведения эксперимента был выбран дозиметр-радиометр МКС-АТ1125, основанный на использовании сцинтилляционного детектора NaI(Tl) размером 25×40 мм. Прибор предназначен для измерения амбиентного эквивалента дозы (10) в диапазоне от 30 нЗв/ч до 300 мкЗв/ч непрерывного рентгеновского и гамма-излучения с энергией от 50 кэВ до 3 МэВ.

Для измерений были выбраны источники Cs-137 и Co-60, параметры которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры используемых радионуклидных источников

Изотоп	Энергия, кэВ	Активность, Бк
Co-60	1173,2	22403
	1133,2	
Cs-137 (1)	661,6	8787
Cs-137 (2)		8693
Cs-137 (3)		20838

Оценка мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) без учета ослабления и рассеяния излучения может быть произведена следующим образом:

$$\dot{H}^*(10) = \delta_H \dot{K}_a,$$

где δ_H – конверсионный коэффициент, Зв/Гр [2],

$\dot{H}^*(10)$ – мощность амбиентного эквивалента дозы, на глубине 10 мм в шаровом фантоме МКРЕ, Зв/ч,

\dot{K}_a – мощность кермы в воздухе, Гр/ч.

Мощность воздушной кермы на расстоянии r от точечного изотропного источника с активностью A может быть определена:

$$\dot{K}_a = \frac{A\Gamma_k}{r^2},$$

где A – активность, Бк,

\dot{K}_a – мощность кермы в воздухе, Гр/ч,

Γ_k – керма-постоянная, Гр·м²/(с·Бк),

r – расстояние, м.

Теоретическое значение мощности амбиентного эквивалента дозы оценивалось для каждой энергетической линии. Проведен расчет значений МАЭД от совокупности радионуклидных источников Co-60 и трех источников Cs-137 на различном расстоянии r до детектора. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Теоретическое значение мощности амбиентного эквивалента дозы на разных расстояниях

Расстояние r , м	МАЭД (10), нЗв/ч
0,1	1140
0,3	127
0,65	27
1,05	10

В ходе предварительных измерений было обнаружено несоответствие практических результатов рассчитанным выше значениям. Выдвинуто предположение, что это может связано с геометрией эксперимента: определением расстояния между источниками и детектором и направлением падения излучения на детектор, поскольку он имеет форму вытянутого цилиндра. Принимая во внимание то, что малые расстояния (до 1 м) между источником гамма-излучения и детектором требуют точного позиционирования средства измерения [3], был проведен следующий эксперимент.

Измерения проводились в двух геометриях расположения источников гамма-излучения относительно поверхности детектора: торцевая и боковая (схема приведена на рисунке 1). При этом расстояние r считалось в первом случае до поверхности защитного колпачка, во втором случае до геометрического центра сцинтилляционного детектора.

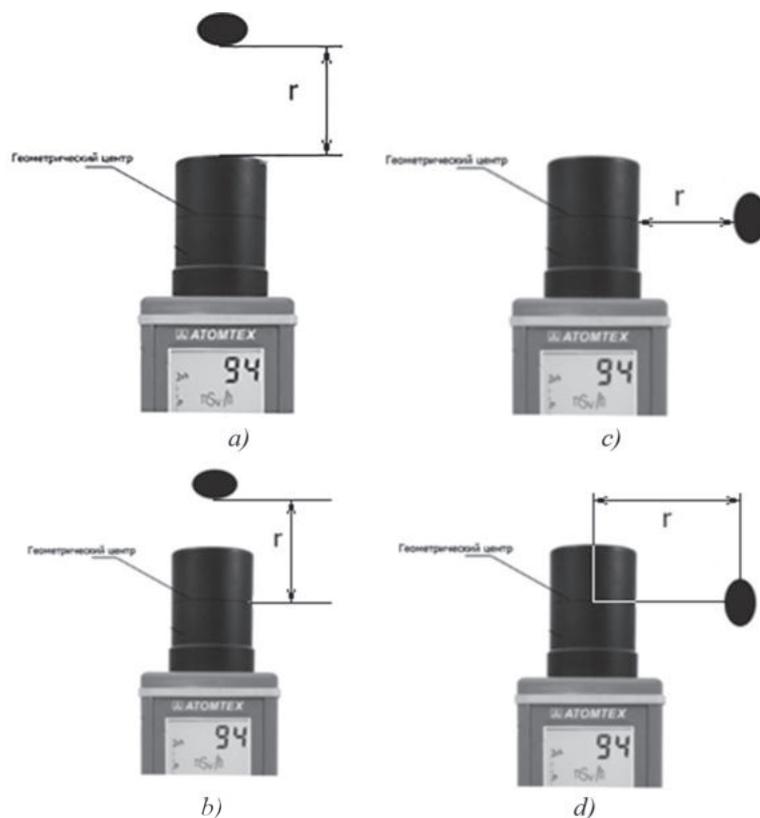


Рисунок 1 – Схема измерений

- a) облучение торцевой поверхности, расстояние r до поверхности защитного колпачка;
- b) облучение торцевой поверхности, расстояние r до геометрического центра детектора;
- c) облучение боковой поверхности, расстояние r до поверхности защитного колпачка;
- d) облучение боковой поверхности, расстояние r до геометрического центра детектора

Среднее значение фона гамма-излучения в ходе эксперимента составило 74 нЗв/ч. Измерения мощности дозы проводились до достижения относительной статистической погрешности 5 %. Результаты измерения мощности амбиентного эквивалента дозы на различных расстояниях от рассматриваемой совокупности радионуклидных источников приведены в таблице 3.

Таблица 3

МАЭД от радионуклидных источников в зависимости от расстояния, нЗв/ч

Расстояние r , м	Схема измерения			
	a	b	c	d
0,1	614	717	1020	1260
0,3	159	174	180	197
0,65	94	98	96	97
1,05	82	83	82	83

Из полученных данных произвели вычитание значений фона и оценили доверительный интервал при доверительной вероятности 0,95, учитывая статистическую погрешность МАЭД (результаты приведены в таблице 4). При рассматриваемых уровнях мощности дозы существенный вклад вносит естественный радиационный фон и его вариации.

Для расстояний 0,1 и 0,3 м в схемах измерения a, b, c наблюдается расхождение с рассчитанными теоретически значениями, указанными в таблице 2. Далее рассчитали относительное отклонение экспериментальных значений от теоретических (таблица 5).

*Границы доверительных интервалов для значений МАЭД
от радионуклидных источников в зависимости от расстояния, нЗв/ч*

Расстояние r , м	Схема измерения							
	a		b		c		d	
	-2 σ	+2 σ	-2 σ	+2 σ	-2 σ	+2 σ	-2 σ	+2 σ
0,1	485	595	578	708	851	1040	1070	1310
0,3	74	96	88	112	93	119	109	137
0,65	12	28	16	32	14	30	15	31
1,05	1	15	2	17	1	15	2	17

Таблица 5

Отклонение экспериментальных значений МАЭД относительно теоретических, %

Расстояние r , м	Схема измерения			
	a	b	c	d
0,1	53	44	17	4
0,3	33	21	16	3
0,65	26	11	19	15
1,05	23	13	23	13

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что в условиях малых расстояний между радионуклидным источником и детектором, дозиметр имеет пониженную чувствительность. Оценка расстояния между источником и детектором до геометрического центра является более верной. При облучении боковой поверхности получаются более точные значения, вероятно, это связано с большей рабочей поверхностью детектора при такой геометрии.

Работа на малых расстояниях от точечного источника не позволяет получить параллельный и однородный поток гамма-излучения. Также для расстояний менее 1 м между радионуклидным источником и неорганическим сцинтиллятором следует учитывать положение эффективного центра энергосвыделения, которое зависит от энергии излучения [3].

Следует отметить, что данный тип дозиметра используется во многих областях деятельности, где требуется контроль радиационной обстановки или для поиска источников ионизирующего излучения. Например, при радиационном контроле металлолома. В этом случае задачами радиационного контроля является: обнаружение превышения мощности дозы гамма-излучения вблизи поверхности партии над природным фоном более чем на 0,05 мкЗв/ч, выявление в партии локальных источников, создающих МАЭД на расстоянии 0,1 м от поверхности партии более 0,2 мкЗв/ч, выявление в партии локальных источников, создающих мощность дозы на расстоянии 10 см более 1 мкЗв/ч [4]. Однако экспериментальные данные свидетельствуют о том, что показания дозиметра в данном диапазоне мощностей дозы будут занижены при использовании данного средства измерения. В случае их использования дозиметров подобного типа (МКС-АТ1125) для определений МАЭД от радионуклидных источников на малых расстояниях следует учитывать полученный эффект. Методики выполнения измерений должны включать требование по позиционированию вытянутого детектора относительно анализируемой поверхности при работе на малых расстояниях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Публикация 103 МКРЗ. Рекомендации 2007 года Международной Комиссии по Радиационной защите / МКРЗ. – М. : ФМБЦ имени А. И. Бурназяна, ФМБА РОССИИ, 2009. – 343 с.
2. Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation: ICRP Publication 74 / International Commission on Radiological Protection (ICRP) // Annals of the ICRP. – PERGAMON, 1996. – Vol. 26. – 224 p.
3. Лукашевич, Р.В. Расчет положения эффективного центра энергосвыделения сцинтилляционных детекторов для задач калибровки при малых расстояниях «источник – детектор» / Р.В. Лукашевич, Г.А. Фоков // Приборы и методы измерений. – 2021. – Т.12, № 3. – С. 239-248.
4. Санитарные нормы «Требования к обеспечению радиационной безопасности при заготовке и реализации металлолома»: СанПиН от 11.03.2016 № 24. : введ. 24.03.2003. – Минск : Министерство здравоохранения Респ. Беларусь, 2016. – 40 с.