



ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

Уникальный номер записи об аккредитации в реестре аккредитованных лиц  
RA.RU.311541



УТВЕРЖДАЮ  
Заместитель генерального  
директора по научной работе

Е.П. Кривцов

2020 г.

**Протокол № 210/1-2020**  
**испытаний материалов, предназначенных для**  
**изготовления стационарных средств защиты от**  
**рентгеновского излучения**

Лист 1  
Всего листов 9

1 Объект испытаний: образцы материалов (рентгенозащитной смеси В2-БАРИТ/ВШТ2-БАРИТ ТУ 23.64.10.110-015-82166262-2018), предназначенные для изготовления стационарных средств защиты от рентгеновского излучения. Габаритные размеры образцов, представленных на испытания, приведены в таблице 1. Внешний вид образцов представлен на рисунках 1 – 4. Образцы изготовлены и представлены на испытания ООО «АЛЬФАПОЛ», г. Санкт-Петербург, ИНН 7820312017.

Таблица 1 – Габаритные размеры образцов материалов, представленных на испытания

Номер образца	1	2	3	4
Габаритные размеры, мм				
– длина	149,8	152,0	152,0	153,6
– ширина	151,3	151,5	152,5	150,6
– высота	10,5 – 11,4	19,6 – 20,5	30,4 – 30,8	40,6 – 42,2

2 Место проведения испытаний: ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, д. 19, корп. 3, пом. 208-209.

3 Дата проведения испытаний: с 03 по 11 сентября 2020 г.

4 Условия проведения испытаний:

- температура окружающего воздуха 20,2 – 22,6 °С;
- относительная влажность воздуха 48 %;
- атмосферное давление 101,8 – 102,1 кПа;
- внешний гамма-фон 0,10 – 0,12 мкЗв/ч.

5 Испытательное оборудование

5.1 При выполнении измерений применялись эталоны, средства измерений и вспомогательное оборудование, указанные в таблице 2.

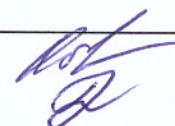
Таблица 2 – Эталоны, средства измерений, вспомогательное оборудование

Наименование	Тип	Зав. №	Характеристики	Примечание
Эталонная дозиметрическая установка на основе рентгеновского аппарата ISOVOLT 320 HS из состава ГЭТ 8-2019	УЭД-50-320	01	Диапазон мощностей кермы в воздухе от $2 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-2}$ Гр/с, погрешность не более $\pm 1$ %	Паспорт на ГПЭ ГЭТ 8-2019
Оборудование из состава ГВЭТ 8-2, рег. № 2.1.ZZB.0135.2015:				
– электрометр	Keithley 6517B	1235801	Диапазон измерений тока от $1 \cdot 10^{-16}$ до $1 \cdot 10^{-3}$ А, основная погрешность измерений не более $\pm 0,4$ %	Сертификат калибровки № 2201/1/094-2019 от 18.09.2019 г.
– ионизационная камера из состава компаратора КИК-1	ТМ32005	0035	Диапазон измерений кермы в воздухе от $1 \cdot 10^{-8}$ до $8 \cdot 10^{-3}$ Гр/с	Свидетельство об аттестации № 210-0135/2019 действительно до 24.02.2023
– сцинтиляционный детектор из состава компаратора КСБД-1	БКМГ-АТ1102	002	Диапазон измерений кермы в воздухе от $3 \cdot 10^{-11}$ до $1 \cdot 10^{-7}$ Гр/с	Свидетельство об аттестации № 210-0135/2019 действительно до 24.02.2023
Метеометр	МЭС-200А	4989	Диапазон измерений температуры минус 40–85 °С; погрешность $\pm 0,2$ °С. Диапазон измерений давления 800-1100 гПа; погрешность $\pm 3$ гПа. Диапазон измерений влажности 0-98 %; погрешность $\pm 3$ %	Свидетельство о поверке №2540/635-2019 действительно до 15.10.2020 г.
Дозиметр рентгеновского и гамма-излучения	ДКС-АТ1123	0697	Диапазон измерения мощности амбиентного эквивалента дозы 50 нЗв/ч – 10 Зв/ч, погрешность $\pm 15$ %.	Свидетельство о поверке №210/0552-2020 действительно до 27.03.2021 г.
Комплект свинцовых пластин			Габариты 230×204 мм, толщины от 0,15 до 3,0 мм; погрешность измерения толщины не более $\pm 1$ %.	Протокол испытаний № 61-И от 18.02.2003 выдан Лабораторией испытаний радиационной защиты и рентгенорадиологической аппаратуры
Штангенциркуль цифровой	Absolute Digimatic серия 500	A17116654	Диапазон измерений от 0 до 300 мм, погрешность 0,01 мм	Свидетельство о поверке № 2511-11/311-2020 действительно до 21.06.2021 г.

## 6 Методика испытаний

6.1 Измерения свинцового эквивалента образцов материала выполнялись в поле прямого пучка рентгеновского излучения методом сравнения с мерой, в качестве которой использовался комплект ослабителей, изготовленных из свинцовых пластин определенной толщины. В фиксированной точке поля рентгеновского излучения были

Руководитель НИЛ-2103  
Научный сотрудник



А.В. Оборин  
Д.С. Гришин

определены кратности ослабления рентгеновского излучения свинцовыми пластинами различной толщины и образцами испытываемых материалов. Полученные данные были представлены в виде графиков функции, определяющих зависимость кратности ослабления излучения от толщины свинца или испытываемого материала. По графику функции для испытываемого материала определялась эквивалентная толщина образца, выраженная в миллиметрах, при которой кратность ослабления рентгеновского излучения образца и свинцовых пластин заданной толщины (свинцовый эквивалент) одинакова.

6.2 Измерение кратности ослабления образцами и свинцовыми пластинами проводилось в условиях геометрии узкого пучка на эталонной дозиметрической установке УЭД 50-320 из состава Государственного первичного эталона ГЭТ 8-2019, оснащенной рентгеновским аппаратом ISOVOLT 320 HS с рентгеновской трубкой СООМЕТ с анодом из вольфрама, первичной фильтрацией 0,75 мм Ве и дополнительной фильтрацией 1,99 мм Аl. Выбор дополнительного фильтра был выполнен в соответствии с требованиями СанПиН 2.6.1.1192-03 (Приложение 9).

6.3 Измерения проводились при анодном напряжении 75, 100 и 150 кВ с использованием электрометра Keithley 6517В и ионизационной камеры типа ТМ32005 или сцинтилляционного детектора БКМГ-АТ1102 из состава вторичного эталона ГВЭТ 8-2.

6.4 Измерения кратности ослабления образцов проводились в 5 точках, расположенных в середине и по краям образца. При измерениях образец устанавливался таким образом, чтобы ось пучка излучения проходила через точку контроля и была перпендикулярна плоскости образца. Кратность ослабления свинцовых пластин определялась в центре пластины. Расстояние от дальней (по отношению к источнику излучения) поверхности образцов и пластин до анода рентгеновской трубки составляло 400 мм. Устройство коллимации обеспечивало формирование пучка излучения диаметром не более 20 мм на дальней поверхности контролируемого образца. Ионизационная камера располагалась на расстоянии 400 мм от поверхности образца.

6.5 Кратность ослабления излучения образцом  $K_m$ , отн. ед., вычислялась по формуле

$$K_m = \frac{\dot{K}_0}{\dot{K}_m}, \quad (1)$$

где  $\dot{K}_m$  – среднее арифметическое мощности кермы в воздухе в поле рентгеновского излучения за образцом, Гр/с;

$\dot{K}_0$  – среднее арифметическое мощности кермы в воздухе в поле рентгеновского излучения без образца, Гр/с.

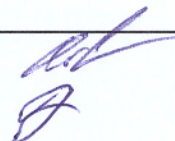
6.6 Кратность ослабления излучения свинцовой пластиной  $K_{pb}$ , отн. ед., вычислялась по формуле

$$K_{pb} = \frac{\dot{K}_0}{\dot{K}_{pb}}, \quad (2)$$

где  $\dot{K}_{pb}$  – среднее арифметическое мощности в воздухе в поле рентгеновского излучения за свинцовой пластиной, Гр/с;

$\dot{K}_0$  – среднее арифметическое мощности кермы в воздухе в поле рентгеновского излучения без свинцовой пластины, Гр/с.

Руководитель НИЛ-2103  
Научный сотрудник



А.В. Оборин  
Д.С. Гришин

6.7 Высота (толщина) образцов материала измерялась в 5 точках с помощью цифрового штангенциркуля. Результаты измерения толщины образцов представлены в таблице 1.

## 7 Результаты испытаний

7.1 Результаты измерений кратности ослабления рентгеновского излучения образцами и свинцовыми пластинами представлены в таблицах 3 – 6.

Таблица 3 – Кратность ослабления рентгеновского излучения образцом при напряжении генерирования 75 кВ

№ образца	K <sub>м</sub> при напряжении генерирования 75 кВ в точке контроля, отн. ед.						СКО, %
	1	2	3	4	5	среднее	
1	115	121	121	111	123	118	2,0
2	2146	2348	2175	2190	2205	2213	1,6
3	3,60·10 <sup>4</sup>	3,14·10 <sup>4</sup>	3,63·10 <sup>4</sup>	3,34·10 <sup>4</sup>	3,32·10 <sup>4</sup>	3,41·10 <sup>4</sup>	2,7
4	6,85·10 <sup>5</sup>	5,35·10 <sup>5</sup>	5,26·10 <sup>5</sup>	6,13·10 <sup>5</sup>	7,20·10 <sup>5</sup>	6,16·10 <sup>5</sup>	6,3

Таблица 4 – Кратность ослабления рентгеновского излучения образцом при напряжении генерирования 100 кВ

№ образца	K <sub>м</sub> при напряжении генерирования 100 кВ в точке контроля, отн. ед.						СКО, %
	1	2	3	4	5	среднее	
1	39,8	41,2	41,3	39,0	41,8	40,6	1,3
2	252	268	255	255	256	257	1,1
3	1359	1318	1372	1376	1290	1343	1,2
4	7166	7279	7654	7342	7554	7399	1,2

Таблица 5 – Кратность ослабления рентгеновского излучения образцом при напряжении генерирования 150 кВ

№ образца	K <sub>м</sub> при напряжении генерирования 75 кВ в точке контроля, отн. ед.						СКО, %
	1	2	3	4	5	среднее	
1	11,7	11,9	11,9	11,5	12,0	11,8	0,74
2	33,5	34,8	33,7	33,7	33,8	33,9	0,64
3	91,6	89,6	92,0	92,0	88,8	90,8	0,73
4	232	233	239	234	238	235	0,62

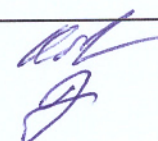
среднее- среднее арифметическое значение результата измерений;

СКО – среднее квадратическое отклонение результата измерений.

Таблица 6 – Кратность ослабления рентгеновского излучения свинцовыми пластинами

Толщина свинцовой пластины, мм	K <sub>рв</sub> , отн. ед.		
	75 кВ	100 кВ	150 кВ
0,145	10,6	5,98	3,82
0,390	64,4	22,2	12,3
0,720	384	80,1	43,0
0,970	1030	160	86,4
1,69	2,15·10 <sup>4</sup>	1280	705

Руководитель НИЛ-2103  
Научный сотрудник



А.В. Оборин  
Д.С. Гришин

Толщина свинцовой пластины, мм	$K_{pb}$ , отн. ед.		
	75 кВ	100 кВ	150 кВ
2,08	$9,27 \cdot 10^4$	3440	1910
2,47	$3,72 \cdot 10^5$	8620	4810
2,82	$1,49 \cdot 10^6$	$2,21 \cdot 10^4$	$1,24 \cdot 10^4$
3,44	$1,43 \cdot 10^7$	$1,04 \cdot 10^5$	$5,83 \cdot 10^4$
3,98	$6,29 \cdot 10^7$	$3,67 \cdot 10^5$	$1,90 \cdot 10^5$

7.2 Доверительные границы погрешности результата измерений кратности ослабления  $\Delta$  находились путем построения композиции распределения случайных погрешностей и неисключенных систематических погрешностей (НСП), рассматриваемых как случайные величины, в соответствии с ГОСТ Р 8.736-2011 «ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения» по формуле

$$\Delta = K \cdot S_{\Sigma}, \quad (3)$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от соотношения случайной составляющей погрешности и НСП;

$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\theta}^2 + S_x^2}$  – суммарное среднее квадратическое отклонение оценки измеряемой величины;

$S_{\theta} = \frac{\theta_{\Sigma}(P)}{k \cdot \sqrt{3}}$  – среднее квадратическое отклонение НСП;

$\theta_{\Sigma}(P) = k \cdot \sqrt{\theta_1^2 + \theta_2^2}$  – границы НСП;

$\theta_1$  – нелинейность средства измерения, равная 0,5 %;

$\theta_2$  – погрешность метода определения кратности ослабления, равная 1 %;

$k$  – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью; при  $P = 0,95$   $k = 1,1$ ;

$S_x = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial f}{\partial \bar{x}_i} \right)^2 \cdot S_i^2}$  – оценка случайной погрешности, принимаемая как среднее квадратическое отклонение среднего арифметического результата измерения (для некоррелированных оценок измеряемых входных величин) при 5 независимых наблюдениях;

$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^{n_i} (x_{li} - \bar{x}_i)^2}{n_i \cdot (n_i - 1)}}$  – СКО оценок измеряемых входных величин;

$\bar{x}_i$  – среднее арифметическое значение  $i$ -й входной величины;

$x_{li}$  –  $l$ -й результат измерения  $i$ -й входной величины;

$n_i$  – число измерений  $i$ -й входной величины ( $n_i = 5$ ).

7.3 В общем случае СКО результата измерений кратности ослабления образца  $S_x$  обусловлено статистическим разбросом показаний прибора при измерении мощности кермы в воздухе  $\dot{K}_m$  и  $\dot{K}_0$  в точке контроля  $S_1$  ( $S_1 = 0,7$  %) и неравномерностью ослабляющих свойств образца по его площади  $S_2$ . Формула для вычисления  $S_x$  может

быть представлена в следующем виде

$$S_x = \sqrt{S_1^2 + S_2^2} \quad (4)$$

7.4 Доверительные границы случайной погрешности оценки измеряемой величины вычислялись  $\varepsilon$  по формуле

$$\varepsilon = t \cdot S_x, \quad (5)$$

где  $t$  – коэффициент Стьюдента, для количества измерений  $n_i = 5$  и  $P = 0,95$   
 $t = 2,571$ .

Коэффициент  $K$  определялся по формуле

$$K = \frac{\varepsilon + \theta_\Sigma(P)}{S_x + S_\theta} \quad (6)$$

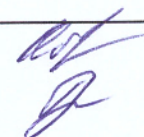
## 8 Выводы

В результате испытаний образцов рентгенозащитной смеси В2-БАРИТ/ВШТ2-БАРИТ ТУ 23.64.10.110-015-82166262-2018 (образцы №№ 1 – 4), изготовленных ООО «АЛЬФАПОЛ» для применения в качестве стационарных средств защиты от рентгеновского излучения, определены кратность ослабления и свинцовый эквивалент образцов для напряжений генерирования 75, 100 и 150 кВ. Результаты измерений кратности ослабления и свинцового эквивалента приведены в таблице 7. Расчетные значения эквивалентной толщины материала, имеющего кратность ослабления, равную кратности ослабления свинца определенной толщины, для напряжений генерирования 75, 100 и 150кВ, приведены в таблице 8.

Таблица 7 – Кратность ослабления рентгеновского излучения образцами

Напряжение генерирования, кВ	Кратность ослабления, отн. ед.	Свинцовый эквивалент, мм Pb	Доверительные границы погрешности измерений, % (P = 0,95)
Образец № 1			
75	118	0,498	5,3
100	40,6	0,540	3,8
150	11,8	0,379	2,8
Образец № 2			
75	2213	1,13	4,4
100	257	1,11	3,4
150	33,9	0,662	2,6
Образец № 3			
75	$3,41 \cdot 10^4$	1,82	6,9
100	1343	1,72	3,7
150	90,8	0,969	2,8
Образец № 4			
75	$6,16 \cdot 10^5$	2,59	16
100	7399	2,39	3,6
150	235	1,30	2,6

Руководитель НИЛ-2103  
Научный сотрудник

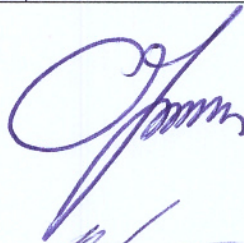


А.В. Оборин  
Д.С. Гришин

Таблица 8 – Эквивалентная толщина материала рентгенозащитной смеси В2-БАРИТ/ВШТ2-БАРИТ ТУ 23.64.10.110-015-82166262-2018

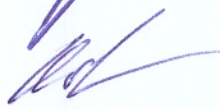
Толщина свинца, мм	Эквивалентная толщина материала (мм) при напряжении на рентгеновской трубке (кВ)		
	75 кВ	100 кВ	150 кВ
1,0	18,3	18,5	32,1
2,0	33,4	35,6	58,3
3,0	46,5	49,3	-
4,0	54,2	58,0	-

Руководитель НИО-210  
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»



С.Г. Трофимчук

Испытания проводили:  
руководитель НИЛ-2103



А.В. Оборин

научный сотрудник





Д.С. Гришин

- 
1. Частичное воспроизведение протокола не допускается без разрешения ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»
  2. Полученные результаты относятся только к указанным в протоколе объектам измерений.

---

Руководитель НИЛ-2103  
Научный сотрудник

А.В. Оборин  
Д.С. Гришин

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
**(обязательное)**

**Внешний вид испытываемых образцов материала**



Рисунок А.1 – Образец № 1



Рисунок А.2 – Образец № 2

---

Руководитель НИЛ-2103  
Научный сотрудник

А.В. Оборин  
Д.С. Гришин





Рисунок А.3 – Образец № 3



Рисунок А.4 – Образец № 4

---

Руководитель НИЛ-2103  
Научный сотрудник

А.В. Оборин  
Д.С. Гришин