



Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии
им. Д.И. Менделеева»
ФГУП «ВНИИМ им. ДИ. Менделеева»

УТВЕРЖДАЮ
 И.о. генерального директора
 _____ А.Н. Пронин

 _____ зам. генерального директора
 _____ Д.И. Менделеева
 _____ Антон Владимирович
 2021 г.

Протокол измерений свинцового эквивалента
материалов, предназначенных для изготовления
стационарных средств защиты от рентгеновского
излучения
№ 210/021-2021

Лист 1
 Всего листов 10

1 Объект измерений: образцы материалов рентгенозащитной смеси ШТ 2-БАРИТ/М 2-БАРИТ ТУ 5745-004-82166262-2004/ТУ 5745-001-8216662-2001, 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 А.1 – А.5. 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	5
Габаритные размеры, мм					
– длина	152	151	152	149	150
– ширина	151	153	153	150	153
– высота	от 11,0 до 11,4	от 20,9 до 21,8	от 31,4 до 32,2	от 42,7 до 43,4	от 52,2 до 52,9

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

3 Дата проведения измерений: с 22 по 24 сентября 2021 г.

4 Условия проведения измерений:

- температура окружающего воздуха от плюс 22,8 °С до плюс 24,2 °С;
- относительная влажность воздуха 32 %;
- атмосферное давление от 101,2 до 102,0 кПа;

5 Эталоны, средства измерений, измерительное оборудование, стандартные образцы:

Наименование	Тип	Зав. №	Характеристики	Примечание
Государственный первичный эталон	ГЭТ 8-2019	1	$S_0=(0,11-0,15)\%$, $\theta_0=(0,42-1,1)\%$	Паспорт на первичный эталон
Метеометр	МЭС-200А	4989	Диапазон измерений температуры минус 40–85 °С; погрешность ±0,2 °С. Диапазон измерений давления 800-1100 гПа; погрешность ± 3 гПа. Диапазон измерений влажности 0-98 %; погрешность ±3 %	Свидетельство о поверке №2540/1471-2020 действительно до 15 ноября 2021 г.
Дозиметр рентгеновского и гамма-излучения	ДКС-АТ1123	0697	Диапазон измерения мощности амбиентного эквивалента дозы 50 нЗв/ч – 10 Зв/ч, погрешность ±15 %.	Свидетельство о поверке № С-В/17-03-2021/45447759 действительно до 16 марта 2022 г.



Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии
им. Д.И. Менделеева»

Протокол измерений № 210/021-2021

Лист 2
Всего листов 10

Наименование	Тип	Зав. №	Характеристики	Примечание
Комплект свинцовых пластин			Габариты 230×204 мм, толщины от 0,15 до 3,0 мм; погрешность измерения толщины не более ± 1 %.	Протокол испытаний № 61-И от 18.02.2003 выдан Лабораторией испытаний радиационной защиты и рентгенорадиологической аппаратуры
Штангенциркуль цифровой	500-153	1078604	Диапазон измерений от 0 до 300 мм, погрешность 0,01 мм	Свидетельство о поверке №2511-11/636-2020 действительно до 15 октября 2021 г.

6 Методика измерений

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 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 COOMET с анодом из вольфрама, первичной фильтрацией 0,75 мм Вe и дополнительной фильтрацией 1,99 мм Al. 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 6517B и ионизационной камеры типа ТМ32005 из состава Государственного первичного эталона ГЭТ 8-2019.

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.

Руководитель лаборатории НИЛ 2103

Научный сотрудник НИЛ 2103

А.В. Оборин

Д.С. Гришин



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.

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

7 Результаты измерений:

7.1 Результаты измерений кратности ослабления рентгеновского излучения образцами и свинцовыми пластинами представлены в таблицах 2 – 5.

Таблица 2. Кратность ослабления рентгеновского излучения образцом при напряжении генерирования 75 кВ

№ образца	K_m при напряжении генерирования 75 кВ в точке контроля, отн. ед.						СКО, %
	1	2	3	4	5	среднее	
1	3,41E+02	3,42E+02	4,48E+02	3,66E+02	3,49E+02	3,69E+02	6
2	1,81E+04	2,32E+04	1,93E+04	1,84E+04	2,20E+04	2,02E+04	5
3	1,03E+06	9,49E+05	8,09E+05	9,66E+05	9,47E+05	9,39E+05	4
4	2,84E+07	2,73E+07	2,66E+07	3,15E+07	2,41E+07	2,76E+07	4
5	1,94E+08	2,41E+08	2,52E+08	2,20E+08	1,67E+08	2,15E+08	7

Таблица 3. Кратность ослабления рентгеновского излучения образцом при напряжении генерирования 100 кВ

№ образца	K_m при напряжении генерирования 100 кВ в точке контроля, отн. ед.						СКО, %
	1	2	3	4	5	среднее	
1	9,20 E+01	9,25E+01	1,10E+02	9,65E+01	9,35E+01	9,69E+01	4
2	9,55E+02	1,090E+03	9,87E+02	9,55E+02	1,054E+03	1,008E+03	2,7
3	7,61E+03	7,72E+03	6,90E+03	7,73E+03	7,80E+03	7,55E+03	2,2
4	4,78E+04	5,06E+04	4,48E+04	4,98E+04	5,14E+04	4,89E+04	2,4
5	2,12E+05	2,26E+05	2,04E+05	2,25E+05	2,26E+05	2,19E+05	2,1

Руководитель лаборатории НИЛ 2103

Научный сотрудник НИЛ 2103

А.В. Оборин

Д.С. Гришин



Таблица 4. Кратность ослабления рентгеновского излучения образцом при напряжении генерирования 150 кВ

№ образца	K_m при напряжении генерирования 75 кВ в точке контроля, отн. ед.						СКО, %
	1	2	3	4	5	среднее	
1	18,6	18,7	20	19,1	18,8	19,1	1,8
2	63,4	67,7	64,3	63,2	66,6	65,1	1,4
3	190	192	181	191	192	189	1,2
4	507	514	484	507	517	506	1,1
5	1,10E+04	1,14E+04	1,07E+04	1,09E+04	1,09E+04	1,10E+04	1,0

Таблица 5. Кратность ослабления рентгеновского излучения свинцовыми пластинами

Толщина свинцовой пластины, мм	K_{pb} , отн. ед.		
	75 кВ	100 кВ	150 кВ
0,145	1,09E+01	6,10	3,88
0,390	6,31E+01	2,18E+01	1,21E+01
0,720	3,77E+02	7,91E+01	4,26E+01
0,970	1,04E+03	1,60 E+02	8,62E+01
1,690	2,10E+04	1,24E+03	6,85E+02
1,886	4,70E+04	2,09E+03	1,15E+03
2,080	9,78E+04	3,42E+03	1,89E+03
2,420	3,65E+05	8,41E+03	4,68E+03
2,815	1,47E+06	2,15E+04	1,21E+04
3,070	3,79E+06	4,19E+04	2,32E+04
3,381	9,46E+06	8,26E+04	4,57E+04
3,921	3,86E+07	3,03E+05	1,65E+05
4,860	2,66E+08	2,21E+06	1,18E+06

7.2 Доверительные границы погрешности результата измерений кратности ослабления Δ 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»:

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

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;

Руководитель лаборатории НИЛ 2103

Научный сотрудник НИЛ 2103

А.В. Оборин

Д.С. Гришин



- θ_1 – нелинейность средства измерения, равная 0,5 %;
 θ_2 – погрешность метода определения кратности ослабления, равная 1 %;
 k – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью;
при $P = 0,95$ $k = 1,1$;

$$S_x = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2} \cdot S_i^2 \text{ – оценка случайной погрешности, принимаемая как среднее}$$

квадратическое отклонение среднего арифметического результата измерения (для некоррелированных оценок измеряемых входных величин) при 5 независимых наблюдениях;

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

\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 ε 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:

$$K = \frac{\varepsilon + \theta_2(P)}{S_x + S_\theta} \quad (6)$$

Руководитель лаборатории НИЛ 2103

Научный сотрудник НИЛ 2103

А.В. Оборин

Д.С. Гришин



Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии
им. Д.И. Менделеева»

Протокол измерений № 210/021-2021

Лист 7
Всего листов 11

8 Выводы: в результате проведенных измерений защитных свойств образцов рентгенозащитной смеси ШТ 2-БАРИТ/М 2-БАРИТ ТУ 5745-004-82166262-2004/ТУ 5745-001-8216662-2001 (образцы №№ 1 – 5), 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 6. Значения толщины материала, имеющего кратность ослабления, равную кратности ослабления свинца определенной толщины, для напряжений генерирования 75, 100 и 150 кВ, приведены в таблице 7.

Таблица 6. 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	3,69 E+02	0,73	14
100	9,69 E+01	0,80	9
150	1,91 E+01	0,51	5
Образец № 2			
75	2,02E+04	1,68	13
100	1,01 E+03	1,61	7
150	6,51 E+01	0,87	4
Образец № 3			
75	9,39E+05	2,67	10
100	7,55E+03	2,39	6
150	1,89 E+02	1,22	4
Образец № 4			
75	2,76E+07	3,78	11
100	4,89E+04	3,15	6
150	5,06 E+02	1,58	4
Образец № 5			
75	2,15E+08	4,74	18
100	2,19E+05	3,78	6
150	1,10E+04	2,77	3

Руководитель лаборатории НИЛ 2103

Научный сотрудник НИЛ 2103

 А.В. Оборин

 Д.С. Гришин



Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии
им. Д.И. Менделеева»

Протокол измерений № 210/021-2021

Лист 8
Всего листов 11

Таблица 7. Эквивалентная толщина материала рентгенозащитной смеси ШТ 2-БАРИТ/М 2-БАРИТ ТУ 5745-004-82166262-2004/ТУ 5745-001-8216662-2001

Толщина свинца, мм	Эквивалентная толщина материала (мм) при напряжении на рентгеновской трубке (кВ)		
	75 кВ	100 кВ	150 кВ
1,0	15,4	14,1	22,2
2,0	25,3	26,5	49,2
3,0	35,7	40,0	78,1
4,0	45,6	54,8	109

Измерения выполнили:

Научный сотрудник НИЛ 2103


Д.С. Гришин

Руководитель лаборатории НИЛ 2103


А.В. Оборин

Руководитель НИО 210

С.Г. Трофимчук

-
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 лаборатории НИЛ 2103


А.В. Оборин

Научный сотрудник НИЛ 2103


Д.С. Гришин



Протокол измерений № 210/007-2021

Лист № 8
Всего листов 10

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)

Внешний вид испытываемых образцов

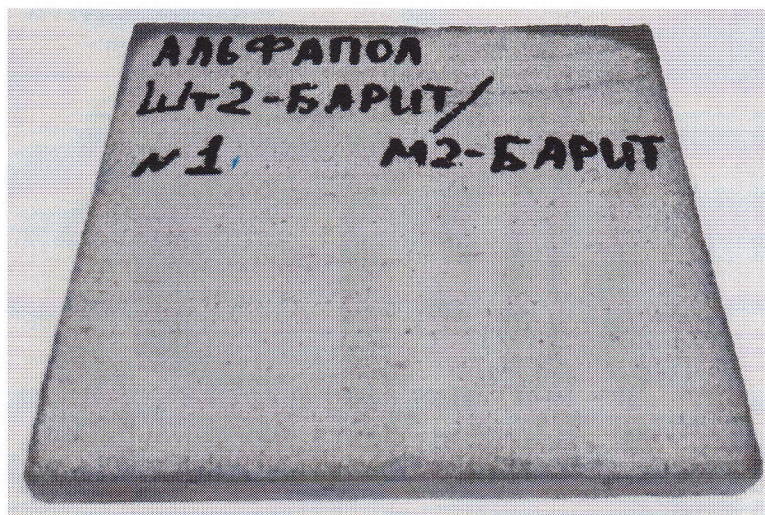


Рисунок А.1. Образец № 1

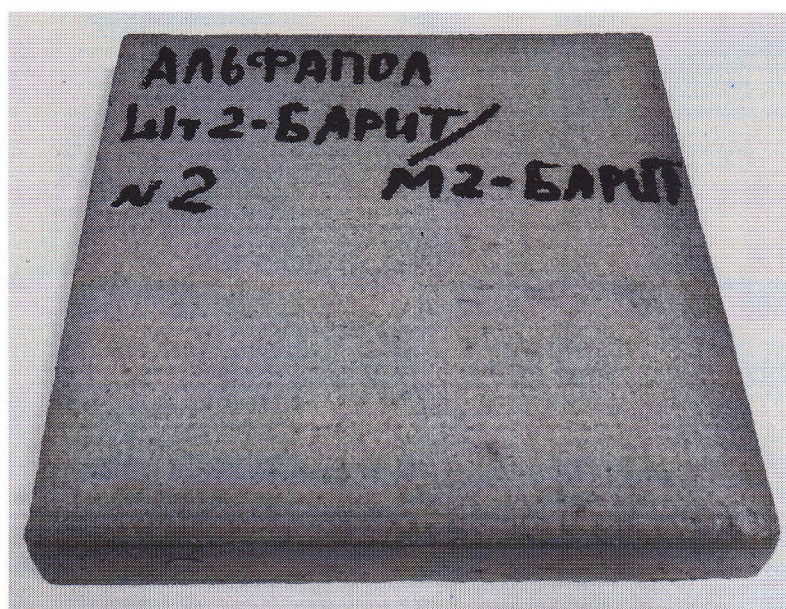


Рисунок А.2. Образец № 2

Руководитель лаборатории

Научный сотрудник

А.В. Оборин

Д.С. Гришин

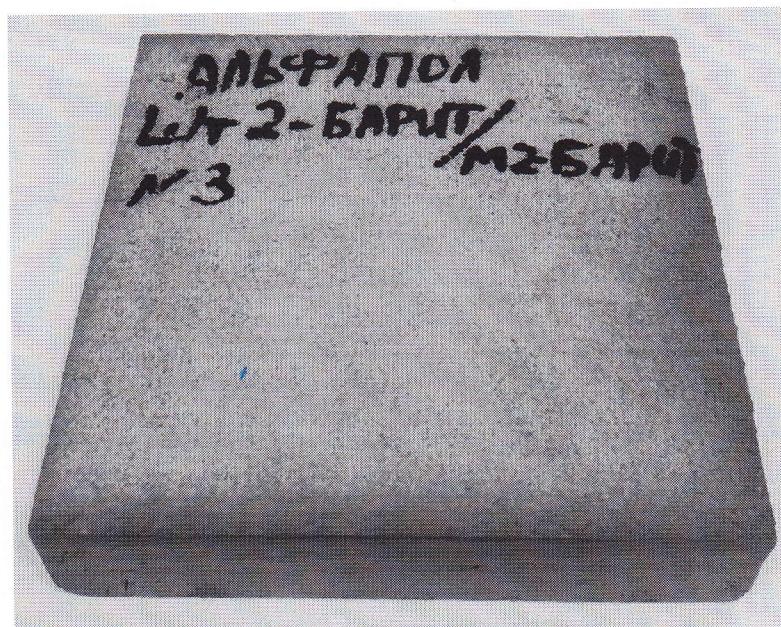


Рисунок А.3. Образец № 3

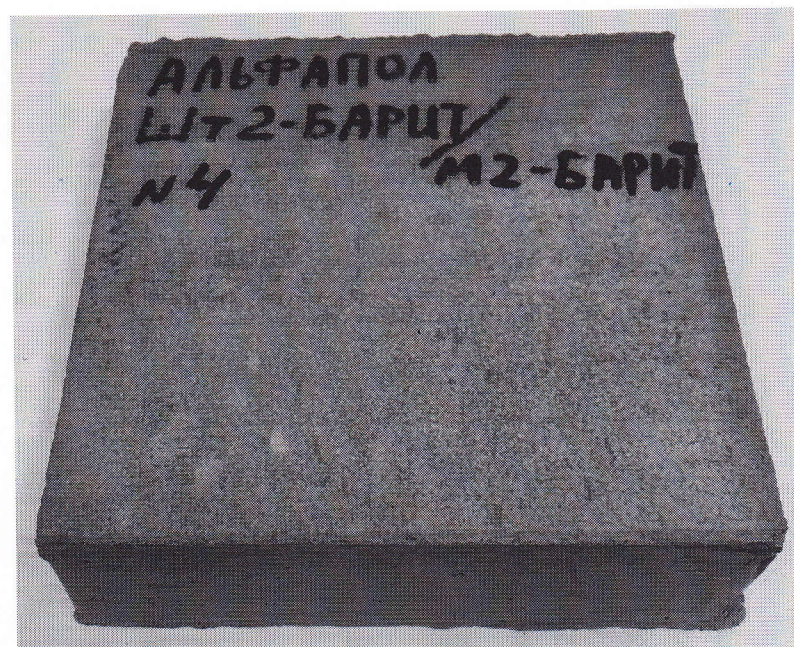


Рисунок А.4. Образец № 4

Руководитель лаборатории НИЛ 2103
Научный сотрудник НИЛ 2103

А.В. Оборин
Д.С. Гришин



Рисунок А.5. Образец № 5

Руководитель лаборатории НИЛ 2103

Научный сотрудник НИЛ 2103

А.В. Оборин

Д.С. Гришин