

**УТВЕРЖДАЮ**  
Заместитель генерального  
директора по научной работе

Е.П. Кривцов

\_\_\_\_\_ 2020 г.



**Протокол № 210/2-2020**  
**испытаний материалов, предназначенных для**  
**изготовления стационарных средств защиты от**  
**рентгеновского излучения**

Лист 1  
Всего листов 7

1 Объект испытаний: образец материала (рентгенозащитной смеси В2-БАРИТ/ВШТ2-БАРИТ ТУ 23.64.10.110-015-82166262-2018), предназначенный для изготовления стационарных средств защиты от рентгеновского излучения. Габаритные размеры образца, представленного на испытания, приведены в таблице 1. Внешний вид образца представлен на рисунке А.1. Образец изготовлен и представлен на испытания ООО «АЛЬФАПОЛ», г. Санкт-Петербург, ИНН 7820312017. Номер образца – 5.

Таблица 1 – Габаритные размеры образца № 5

Характеристика	Значение, мм
– длина	152,1
– ширина	150,8
– высота	155,5 – 158,2

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 08 по 09 октября 2020 г.

4 Условия проведения испытаний:

- температура окружающего воздуха 21,2 – 22,4 °С;
- относительная влажность воздуха 43 – 47 %;
- атмосферное давление 101,8 – 101,9 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
– сцинтилляционный 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
Метеомер	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 образца 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 образцом 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 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 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 образца 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.

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



## 7 Результаты испытаний

7.1 Результаты измерений кратности ослабления рентгеновского излучения образцом и свинцовыми пластинами представлены в таблицах 3,4.

Таблица 3 – Кратность ослабления рентгеновского излучения образцом при напряжении генерирования 150 кВ

№ образца	$K_m$ , отн. ед.						СКО, %
	1	2	3	4	5	среднее	
5	6,37E+05	6,47E+05	6,40E+05	6,20E+05	6,37E+05	6,36E+05	0,70

среднее- среднее арифметическое значение результата измерений;  
СКО – среднее квадратическое отклонение результата измерений.

Таблица 4 – Кратность ослабления рентгеновского излучения свинцовыми пластинами при напряжении генерирования 150 кВ

Толщина свинцовой пластины, мм	$K_{pb}$ , отн. ед.
2,82	$1,24 \cdot 10^4$
3,44	$5,83 \cdot 10^4$
3,98	$1,90 \cdot 10^5$
4,95	$1,67 \cdot 10^6$

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  $P = 0,95$   $k = 1,1$ ;

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

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



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

$\bar{x}_i$  – 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  $\varepsilon$  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

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

## 8 Выводы

В результате испытаний образца рентгенозащитной смеси В2-БАРИТ/ВШТ2-БАРИТ ТУ 23.64.10.110-015-82166262-2018 (образец № 5), изготовленного ООО «АЛЬФАПОЛ» для применения в качестве стационарных средств защиты от рентгеновского излучения, определена кратность ослабления и свинцовый эквивалент образца для напряжения генерирования 150 кВ. Результаты измерений кратности ослабления и свинцового эквивалента приведены в таблице 5.

Эквивалентная толщина материала рентгенозащитной смеси В2-БАРИТ/ВШТ2-БАРИТ ТУ 23.64.10.110-015-82166262-2018 приведена в таблице 6.



Таблица 5 – Кратность ослабления рентгеновского излучения и свинцовый эквивалент образца

Напряжение генерирования, кВ	Кратность ослабления, отн. ед.	Свинцовый эквивалент, мм Рb	Доверительные границы погрешности измерений, % (P = 0,95)
Образец № 5			
150	$6,36 \cdot 10^5$	4,50	2,7

Таблица 6 – 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 150 кВ
4,5	157

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



С.Г. Трофимчук

Испытания проводили:  
руководитель НИЛ-2103



А.В. Оборин

- 
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.





ПРИЛОЖЕНИЕ А  
(обязательное)

**Внешний вид испытываемого образца материала**

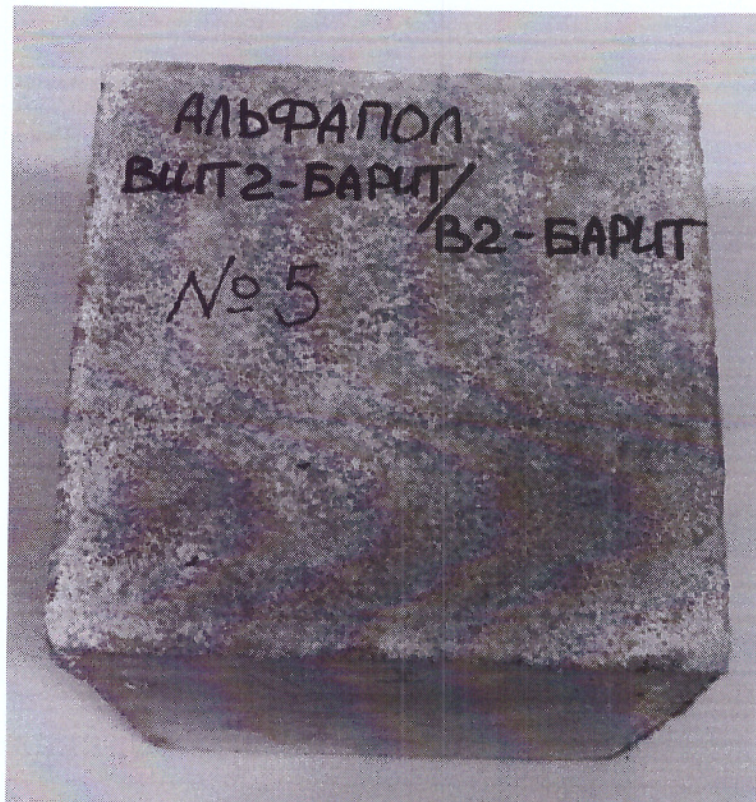


Рисунок А.1 – Образец № 5