



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

2022 г.

**Протокол измерений защитных свойств материалов,
предназначенных для изготовления стационарных
средств защиты от рентгеновского излучения
№ 210/018-2022-И**

Лист 1

Всего листов 10

1 Объект измерений: образцы материалов (рентгенозащитной смеси ВШТ2-БАРИТ, В2-БАРИТ ТУ 23.64.10-015-82166262-2018), 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 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	0	1	2	3	4	5
Габаритные размеры, мм						
– длина	151	151	151	152	149	153
– ширина	152	150	153	152	153	150
– высота	9,8 – 11,3	11,5 – 11,1	20,9 – 22,6	32,1 – 32,9	41,3 – 41,8	51,3 – 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 5 по 8 сентября 2022 г.

4 Условия проведения измерений:

- температура окружающего воздуха 20,9 – 22,8 °С;
- относительная влажность воздуха 43 %;
- атмосферное давление 101,2 – 102,7 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
Метеомер	МЭС-200А	4989	Диапазон измерений температуры минус 40–85 °С; погрешность $\pm 0,2$ °С. Диапазон измерений давления 800-1100 гПа; погрешность ± 3 гПа. Диапазон измерений влажности 0-98 %; погрешность ± 3 %	Свидетельство о поверке № С-В/23-11-2021/112990443 действительно до 22 ноября 2022 г.

И.о. руководителя НИО 210
Научный сотрудник НИЛ 2103

Г.В. Жуков
Д.С. Гришин



Протокол измерений № 210/018-2022-И

Лист 2
Всего листов 10

Наименование	Тип	Зав. №	Характеристики	Примечание
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 № С-В/16-03-2022/139971463 действительно до 15 марта 2023 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	500-153	1078604	Диапазон измерений от 0 до 300 мм, погрешность 0,01 мм	Свидетельство о поверке № С-В/16-11-2021/111181033 действительно до 15 ноября 2022 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 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 75, 100 и 150 кВ с использованием электрометра Keithley 6517B и ионизационной камеры типа ТМЗ2005 из состава Государственного первичного эталона ГЭТ 8-2019 и 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



Протокол измерений № 210/018-2022-И

Лист 3
Всего листов 10

формирование пучка излучения диаметром не более 20 мм на дальней поверхности контролируемого образца. Ионизационная камера (сцинтилляционный детектор) располагались 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) 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	277	311	310	328	260	297	4,2
2	1,73E+04	2,01E+04	1,56E+04	1,38E+04	2,17E+04	1,77E+04	8,2
3	5,05E+05	5,26E+05	5,93E+05	5,53E+05	5,87E+05	5,53E+05	3,1
4	8,43E+06	8,04E+06	1,03E+07	1,28E+07	1,11E+07	1,01E+07	8,6
5	7,55E+07	4,92E+07	1,11E+08	8,62E+07	8,69E+07	8,17E+07	12

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	73,2	78,8	79	81,9	70,4	76,6	2,7
2	818	886	770	720	919	822	4,4
3	5,79E+03	5,06E+03	5,98E+03	5,67E+03	5,78E+03	5,66E+03	2,8
4	2,59E+04	2,84E+04	2,52E+04	2,83E+04	2,85E+04	2,72E+04	2,6
5	1,29E+05	1,42E+05	1,55E+05	1,42E+05	1,39E+05	1,42E+05	2,9

И.о. руководителя НИО 210
Научный сотрудник НИЛ 2103

Г.В. Жуков
Д.С. Гришин



Протокол измерений № 210/018-2022-И

Лист 4
Всего листов 10

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	16,3	16,9	17	17,3	15,9	16,7	1,5
2	59,4	62,0	57,4	55,5	63,2	59,5	2,4
3	171	159	173	168	170	168	1,5
4	378	392	369	392	393	385	1,2
5	9,44E+02	9,34E+02	9,65E+02	9,40E+02	9,09E+02	9,38E+02	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;

θ_1 – нелинейность средства измерения, равная 0,5 %;

θ_2 – погрешность метода определения кратности ослабления, равная 1 %;

k – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью;



Протокол измерений № 210/018-2022-И

Лист 5
Всего листов 10при $P = 0,95$ $k = 1,1$;

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

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:

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



Протокол измерений № 210/018-2022-И

Лист 6
Всего листов 10

8 Выводы: в результате проведенных измерений защитных свойств образцов рентгенозащитной смеси ВШТ2-БАРИТ, В2-БАРИТ ТУ 23.64.10-015-82166262-2018 (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 Рb	Доверительные границы погрешности измерений, % (P = 0,95)
Образец № 0			
75	226	–	–
100	64,5	–	–
150	15,3	–	–
Образец № 1			
75	297	0,68	11
100	76,6	0,73	7,1
150	16,7	0,47	4,2
Образец № 2			
75	1,77E+04	1,6	21
100	822	1,5	11
150	59,5	0,84	6,3
Образец № 3			
75	5,53E+05	2,5	7,9
100	5,66E+03	2,3	7,2
150	168	1,18	4,2
Образец № 4			
75	1,01E+07	3,4	22
100	2,72E+04	2,9	6,8
150	385	1,48	3,7
Образец № 5			
75	8,17E+07	4,3	31
100	1,42E+05	3,6	7,4
150	9,38E+02	1,81	3,2



ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

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

Протокол измерений № 210/018-2022-И

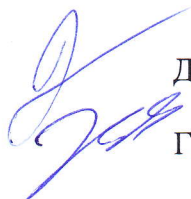

Лист 7
Всего листов 10

Таблица 7. Эквивалентная толщина материала рентгенозащитной смеси ВШТ2-БАРИТ, В2-БАРИТ ТУ 23.64.10-015-82166262-2018

Толщина свинца, мм	Эквивалентная толщина материала (мм) при напряжении на рентгеновской трубке (кВ)		
	75 кВ	100 кВ	150 кВ
1,0	14,7	14,8	26,3
2,0	25,3	27,6	79,9
3,0	38,0	45,3	148
4,0	46,3	61,2	165


Измерения выполнили:
Научный сотрудник НИЛ 2103

И.о. руководителя НИО 210


Д.С. Гришин

Г.В. Жуков

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.

И.о. руководителя НИО 210
Научный сотрудник НИЛ 2103


Г.В. Жуков
Д.С. Гришин



ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

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

Протокол измерений № 210/018-2022-И

Лист № 8
Всего листов 10

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)

Внешний вид испытываемых образцов

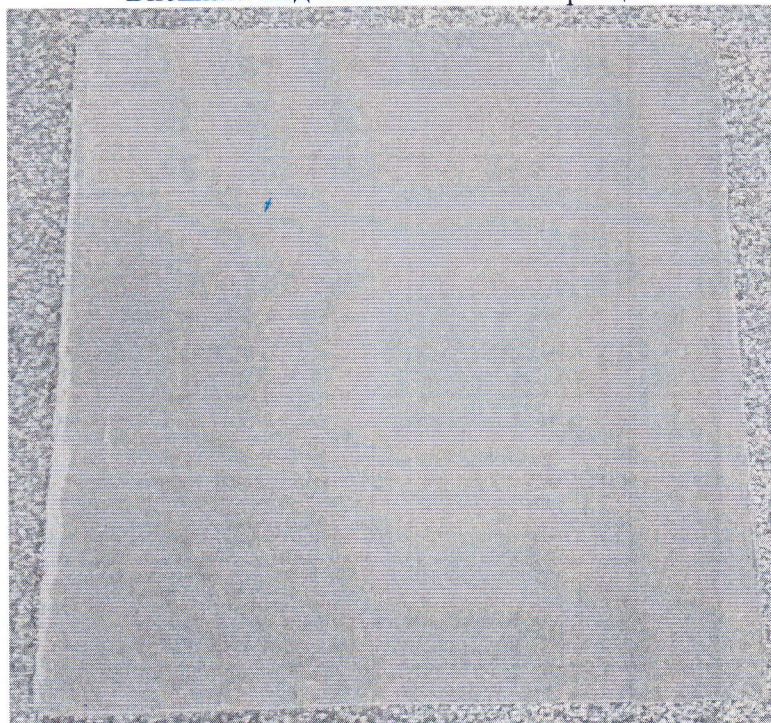


Рисунок А.1. Образец № 1

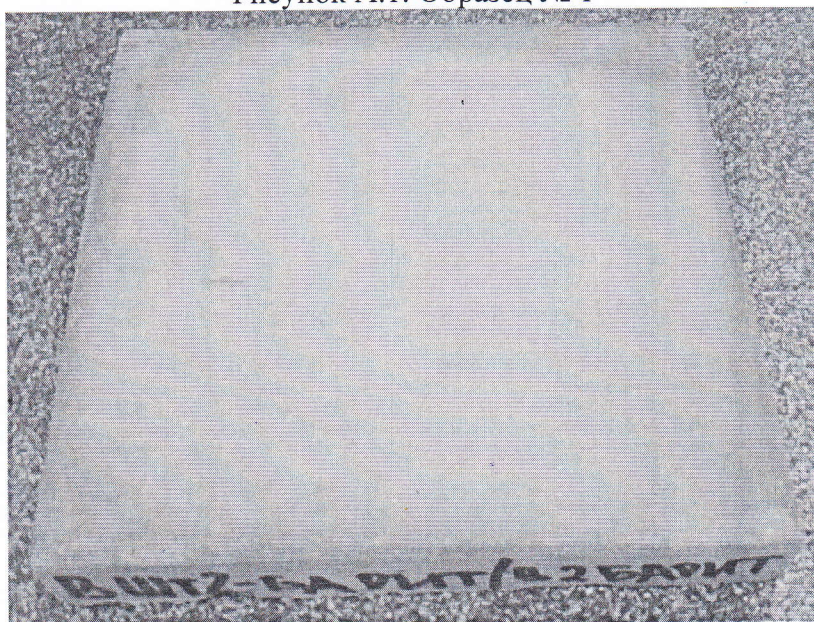



Рисунок А.2. Образец № 2

И.о. руководителя НИО 210
Научный сотрудник

 Г.В. Жуков
Д.С. Гришин

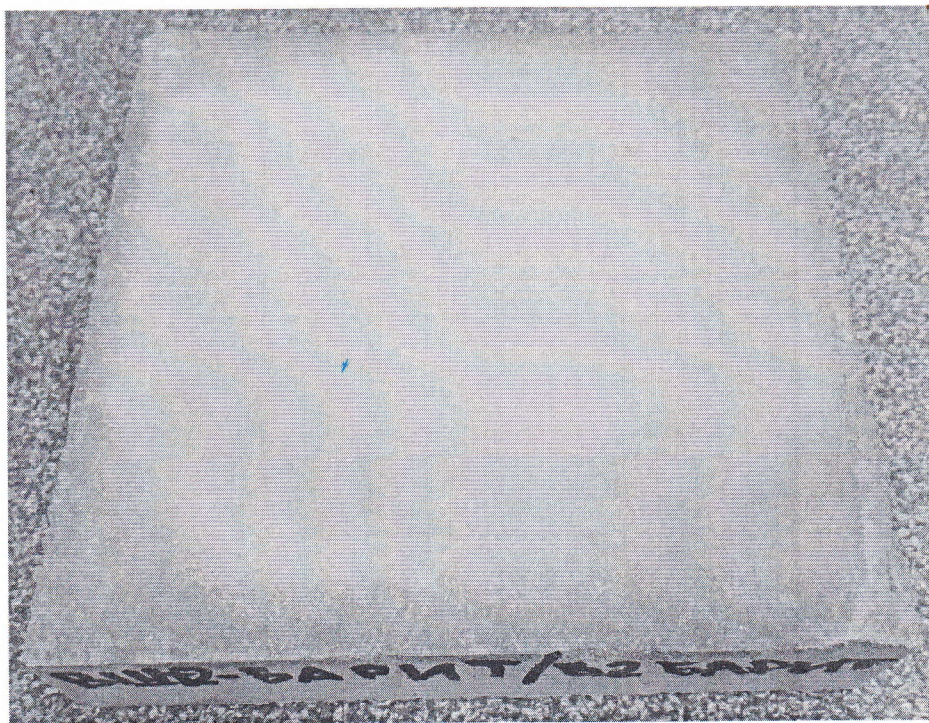


Рисунок А.3. Образец № 3

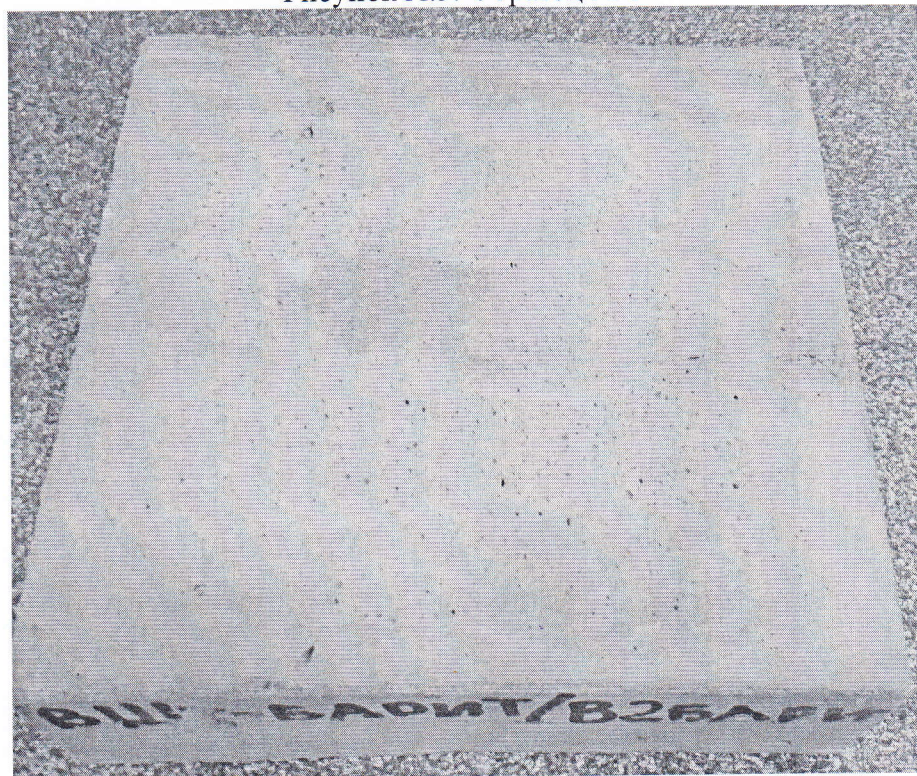


Рисунок А.4. Образец № 4



ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

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

Протокол измерений № 210/018-2022-И

Лист 10
Всего листов 10

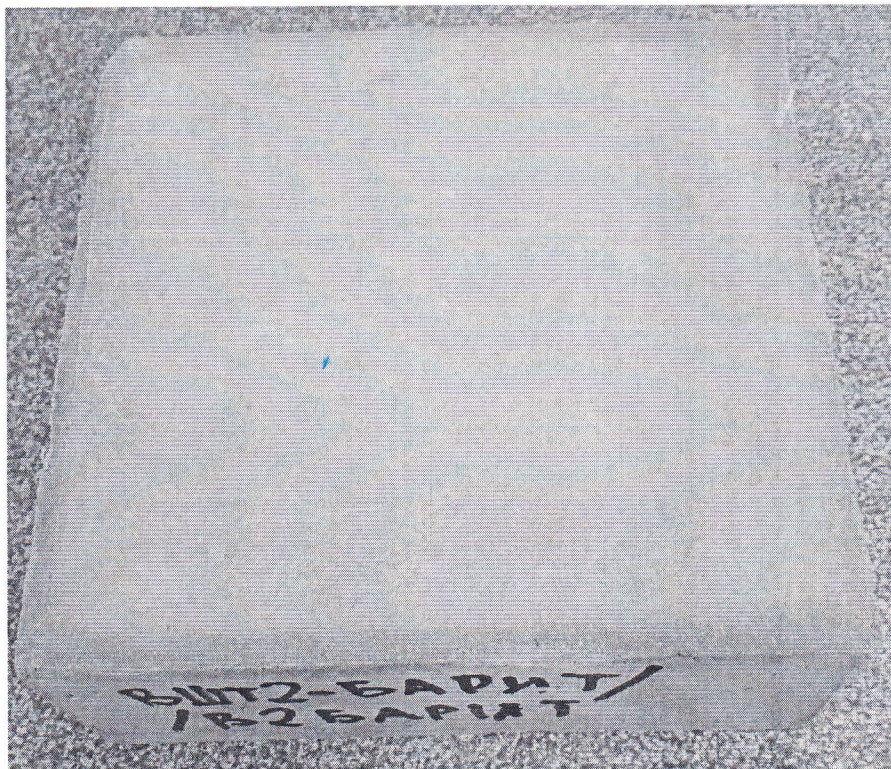


Рисунок А.5. Образец № 5

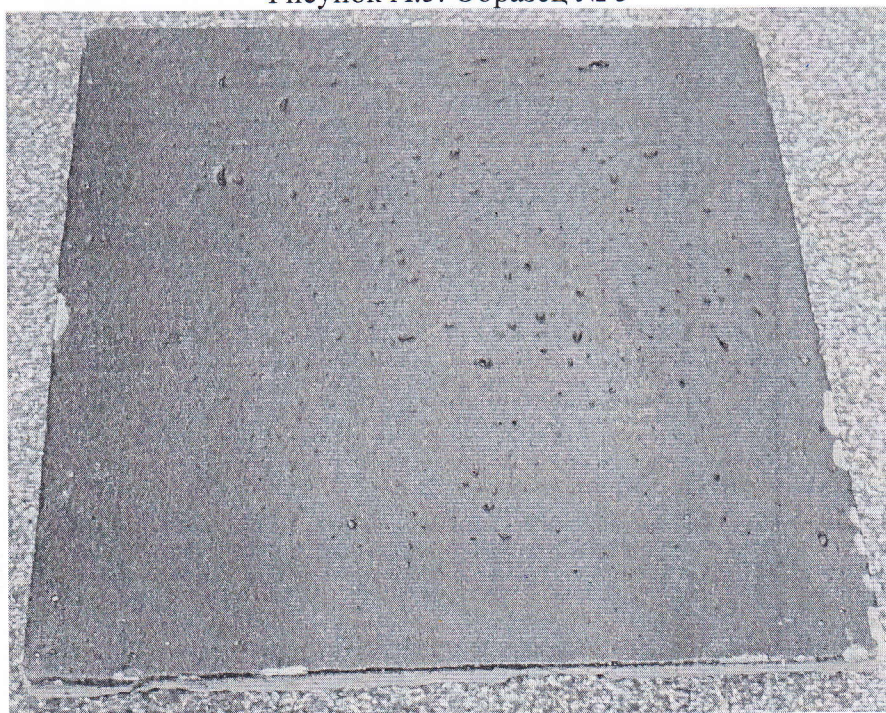


Рисунок А.6 Образец № 0

И.о. руководителя НИО 210
Научный сотрудник НИЛ 2103

Г.В. Жуков
Д.С. Гришин