

ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2025. Т. 34. № 1. С. 5–22
 POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2025; 34(1):5-22

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH PAPER

УДК 699.812.2

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2025.34.01.5-22>

Пожарно-технические характеристики рулонных базальтовых материалов, кашированных фольгой

Марина Викторовна Гравит¹, Ольга Александровна Зыбина¹,
 Ирина Леонидовна Котлярская¹✉, Михаил Борисович Ясколко²

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия

² ООО «Коллегия Независимых Экспертов», г. Краснодар, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Базальтовая теплоизоляция широко применяется в строительстве зданий и сооружений ввиду своего основного показателя — НГ (негорючий материал). Объектом исследования являются пятнадцать образцов базальтовой теплоизоляции, кашированных фольгой, которые активно используются на строительном рынке для теплоизоляции зданий, инженерных решений противопожарных барьеров и обеспечения огнестойкости конструкций, воздуховодов и кабельных проходок.

Цель исследования. Цель работы заключалась в определении материалов к категории «негорючего материала» среди представленных пятнадцати образцов.

Метод исследования. Контрольные испытания на негорючесть проходили в соответствии с требованиями ГОСТ 30244–94 «Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть». Изучаемые материалы по структуре являются слоистыми, поэтому исследованию подлежали все слои по отдельности (базальтовое волокно и фольга с остатками клея).

Результаты исследования. В результате испытаний установлено, что тринадцать из исследуемых материалов не соответствуют требованиям негорючести и только два материала оказались негорючими, т.е. полностью соответствующими требованиям по пожарной безопасности и могут применяться без ограничений. Из образцов, которые показали неудовлетворительные результаты, три материала изготовлены из негорючих составляющих, но сочетание алюминиевой фольги и силикатного клея привело к возникновению алюминотермической реакции, при которой температура в камере достигала значений выше 1000 °С, ввиду выхода термопар из строя эксперимент прекращали. Исследования следует продолжать и на основе большой выборки статистических данных для различных материалов из комбинированных слоев, следует внести дополнение в нормативные документы по методу испытаний на горючесть, что при испытании многослойного материала необходимо испытывать не только каждый слой по отдельности, но также и весь материал полностью, так как комбинирование различных, пусть и негорючих компонентов может привести к аддитивным эффектам и в результате их можно отнести к группе горючих материалов.

Ключевые слова: огонь; пожарная безопасность; строительные материалы; негорючесть; горючесть; базальтовое волокно; фольга; многослойный материал; методы испытаний

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23–29-00618. URL: <https://rscf.ru/project/23-29-00618/> (дата обращения: 01.06.2024).

Для цитирования: Гравит М.В., Зыбина О.А., Котлярская И.Л., Ясколко М.Б. Пожарно-технические характеристики рулонных базальтовых материалов, кашированных фольгой // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2025. Т. 34. № 1. С. 5–22. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.01.5-22

✉ Котлярская Ирина Леонидовна, e-mail: iravassilek@mail.ru

Fire-technical characteristics of rolled basalt materials laminated with foil

Marina V. Gravit¹, Olga A. Zyбина¹, Irina L. Kotlyarskaya¹✉, Mikhail B. Yaskolko²

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russian Federation

² LLC "Collegium of Independent Experts", Krasnodar, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Basalt thermal insulation is widely used in the construction of buildings and structures due to its main indicator — non-flammable material. The object of the study are fifteen specimens of basalt thermal insu-

lation laminated with foil, which are actively used in the construction market for thermal insulation of buildings, engineering solutions for fire barriers and fire resistance of structures, air ducts and cable penetrations.

Purpose of the study. The purpose of the study was to identify materials in the category of “non-combustible material” among the fifteen specimens presented.

Methods of the study. Control tests for incombustibility were carried out in accordance with the requirements of GOST 30244–94 “Building materials. Methods of testing for combustibility”.

Results of the study. The studied materials are layered in structure; therefore, all layers were studied separately (basalt fibre and foil with glue residues). As a result of the tests, it was found that thirteen of the studied materials do not meet the requirements of incombustibility, and only two materials turned out to be incombustible, that is, they fully comply with fire safety requirements and can be used without restrictions. Of the specimens that showed unsatisfactory results, three materials were made of non-flammable components, but the combination of aluminum foil and silicate glue led to an aluminothermic reaction in which the temperature in the chamber reached values above 1,000 °C, due to the failure of the thermocouples, the experiment was stopped. Research should be continued on the basis of a large specimen of statistical data for various materials from combined layers, an addition should be made to the regulatory documents on the test method for flammability, that when testing a multilayer material, it is necessary to test not only each layer separately, but also the entire material completely, since the combination of various, albeit non-flammable components, it can lead to additive effects and, as a result, belongs to the group of combustible materials.

Keywords: fire; fire safety; building materials; incombustibility; combustibility; basalt fibre; foil; multilayer material; test methods

Acknowledgments. The research was funded by the Russian Science Foundation (RSF) under Grant No. 23-29-00618. URL: <https://rscf.ru/project/23-29-00618/> (date of application: 01.06.2024).

For citation: Gravit M.V., Zybina O.A., Kotlyarskaya I.L., Yaskolko M.B. Fire-technical characteristics of rolled basalt materials laminated with foil. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2025; 34(1):5-22. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.01.5-22 (rus).

✉ Irina Leonidovna Kotlyarskaya, e-mail: iravassilek@mail.ru

Введение

За последнее десятилетие разработано множество теплоизоляционных материалов для зданий и сооружений (фасадные конструкции, противопожарные барьеры) и средств огнезащиты строительных конструкций, воздуховодов, кабельных проходок [1, 2]. Самые распространенные из них: огнезащитные вспучивающиеся лакокрасочные покрытия, штукатурки и конструктивная защита — рулонные и плитные [3] (рис. 1). Первая группа материалов активно применяется для защиты стальных конструкций, так как при температурах 200–250 °C они образуют обугленный слой с низкой теплопроводностью [4]. Кроме того, данные материалы под воздействием повышенных температур могут выделять продукты, препятствующие горению (например, фосфорная кислота), а также в результате эндотермических реакций выделяют газы, охлаждающие поверхности, подверженные воздействию огня [5].

Рулонные конструктивные материалы изготавливаются из минерального сырья с последующей технологической обработкой. Плотность и жесткость покрытия обеспечивается с помощью армирования и применением различных типов покрывных материалов, выполненных из негорючих материалов [6]. Отмечается тенденция [7] к использованию натуральных, экологически чистых волокон базальта в рулонных покрытиях благодаря своим исключительным механическим и термическим свойствам, а также химической стабильности [8–10].

По сравнению с углеродными, стеклянными или другими минеральными волокнами, в целом воздействие на окружающую среду всего комплекса технических процессов, связанных с получением и использованием базальтовых волокон, значительно ниже [11].

В статье [12] исследуется огнезащитная эффективность базальтового рулонного материала при покрытии легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК). В ходе экспериментальных и численных исследований было установлено, что огнестойкость ЛСТК повышается в 2–4 раза. В работах [13, 14] рассматривается инновационный материал аэрогель, который для удобного применения наносится на тканевую основу и эффективно используется как огнезащитный материал.

Среди рулонных материалов активно применяются теплоизоляционные покрытия, кашированные фольгой [15]. Согласно [16, 17], утеплители с фольгой обладают высокой отражательной способностью и сохраняют тепло гораздо эффективнее, чем материалы без защитного слоя. Фольга является паро- и влаго непроницаемым материалом, а также защищает изоляцию от вредных излучений извне. В качестве примера кашированного фольгой покрытия из базальта в статье [18] рассматривается материал, основу которого составляют супертонкие базальтовые волокна, скрепленные между собой естественным образом без добавления клея и прошитые вязально-прошивным методом. Материал обклеен слоем фольги. Материал показал термостойкие свойства и рекомендован авто-

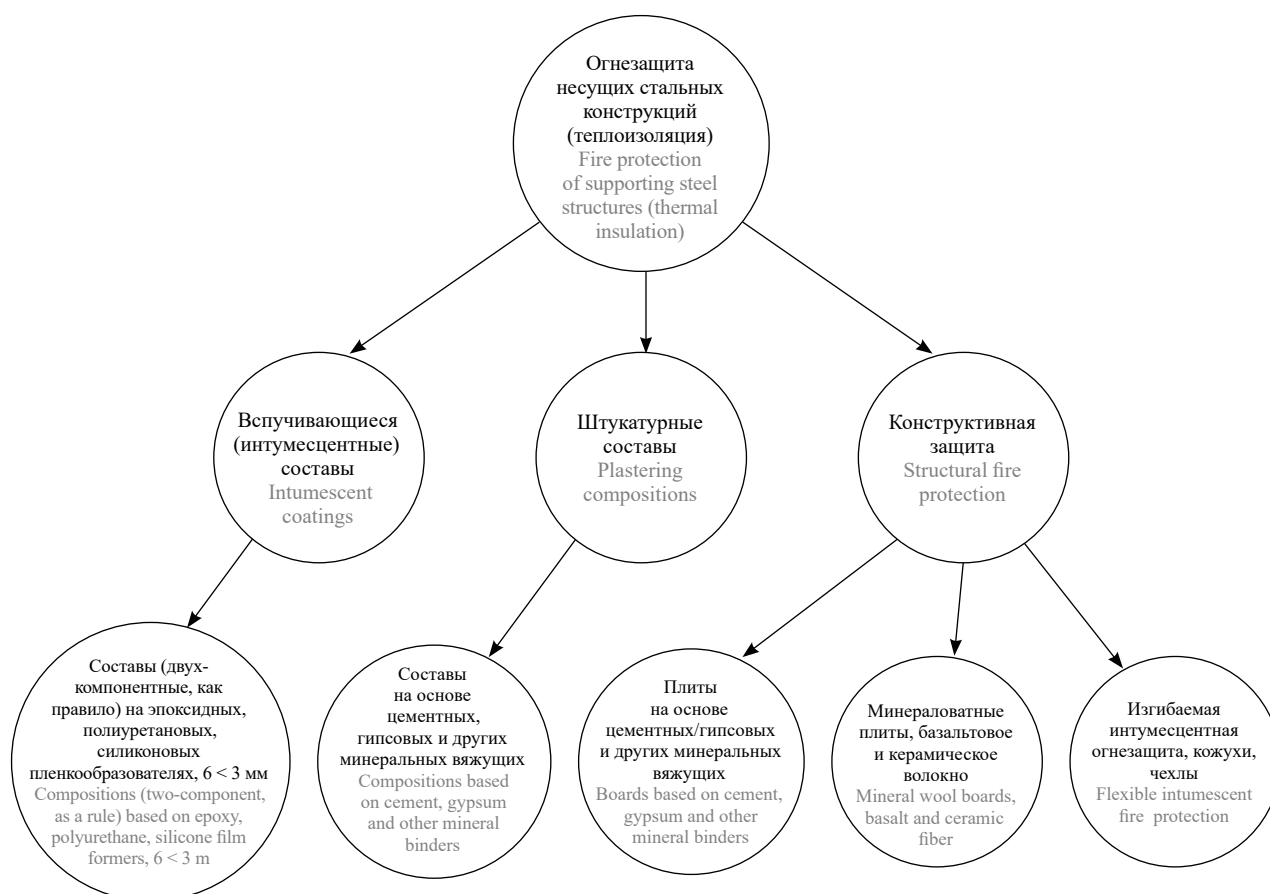


Рис. 1. Основные виды и типы огнезащитных материалов

Fig. 1. Main types and kinds of fire retardant materials

рами статьи [18] к применению в качестве материала для пассивной противопожарной защиты.

Согласно российскому стандарту ГОСТ 30244–94¹, существует два метода определения негорючести. Испытания рекомендуется начинать по методу I, если массовая доля органических веществ в материале составляет не более 2 %. Строительные материалы в зависимости от значений параметров горючести, определяемых по методу I, подразделяют на негорючие (НГ) и горючие (Г). В европейских нормах^{2, 3} учитывается, что неоднородный многослойный материал следует испытывать на горючесть и как единую систему, и как составную из разных компонентов [19]. Такой подход расширяет группу материалов, которые могут быть отнесены к горючим или негорючим.

В представленной статье рассмотрены 15 образцов базальтовой теплоизоляции кашированной фольгой, которые активно используются на строи-

тельном рынке для теплоизоляции и обеспечения огнестойкости конструкций.

Цель исследования: определение возможности классификации образцов базальтовой теплоизоляции с алюминиевой фольгой как негорючего материала согласно действующим нормативным документам.

Материалы и методы

Материалы. Для исследования применены 15 образцов изделий базальтовых огнезащитных рулонных с фольгированным покрытием с одной стороны. Характеристики используемых материалов представлены в табл. 1.

Методы. Контрольные испытания на негорючесть проходили в соответствии с требованиями ГОСТ 30244–94¹, согласно которому строительные материалы можно отнести к негорючим, если выполняются три критерия, представленные в табл. 2.

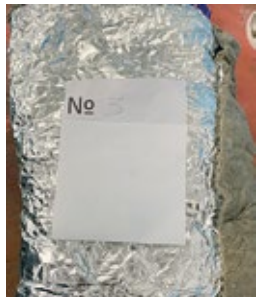
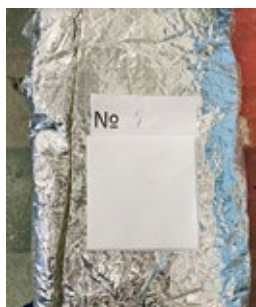
Метод испытания на горючесть для отнесения строительных материалов к негорючим или к горючим применяют для однородных строительных материалов (рис. 2), соответственно, если материал является слоистым, то исследованию подлежат все слои

¹ ГОСТ 30244–94. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9056051> (дата обращения: 13.04.2024).

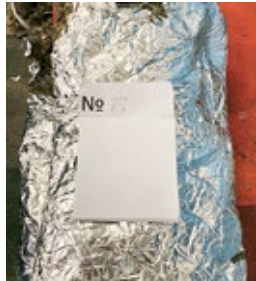
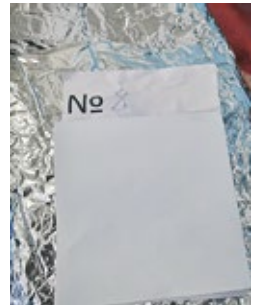
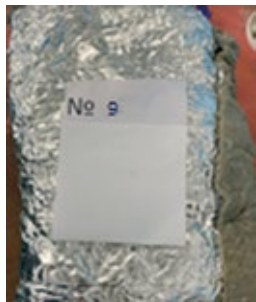
² EN 13823. Single Burning Item (SBI).

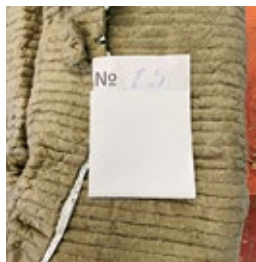
³ EN ISO 1182. Non-Combustibility Apparatus.

Таблица 1. Характеристики исследуемых образцов
Table 1. Characteristics of the studied specimens

Номер образца Specimen number	Плотность, кг/м ³ Density, kg/m ³	Толщина, мм Thickness, mm	Шаг прошивки, мм Stitching pitch, mm	Длина, мм Length, mm	Ширина, мм Width, mm	Вид Type
1	70	5	10	17 000	1200	
2	105	5	17	17 000	1200	
3	85	5	16	29 500	1200	
4	75	5	20	17 000	1200	
5	80	5	18,5	17 000	1200	

Продолжение табл. 1 / Continue of the Table 1

Номер образца Specimen number	Плотность, кг/м ³ Density, kg/m ³	Толщина, мм Thickness, mm	Шаг прошивки, мм Stitching pitch, mm	Длина, мм Length, mm	Ширина, мм Width, mm	Вид Type
6	0,57	5	20	17 000	1500	
7	80	5	20	17 000	1000	
8	100	5	20	17 000	1200	
9	80–100	5	20	17 000	1200	
10	91	5	28	17 000	1000	

Номер образца Specimen number	Плотность, кг/м ³ Density, kg/m ³	Толщина, мм Thickness, mm	Шаг прошивки, мм Stitching pitch, mm	Длина, мм Length, mm	Ширина, мм Width, mm	Вид Type
11	70–100	5	18	17 000	1200	
12	100	5	19	17 000	1200	
13	–	5	–	17 000	1200	
14	70–100	5	18	17 000	1200	
15	80	5	18	17 000	1200	

по отдельности. Неоднократные испытания, проведенные в различных испытательных центрах, однозначно позволяют утверждать, что по отдельности базальтовый холст [8, 20], алюминиевая фольга [21] и отвердевший силикатный клей [22] являются негорючими материалами. Однако сочетание двух негорючих веществ не всегда может признаваться негорючим.

В связи с невозможностью отделения клеевого слоя от поверхности готового изделия без повреждения испытания минераловатной ваты и алюминиевой фольги будут проходить по отдельности, каждый материал будет испытываться с остатками клеевого слоя. Из материалов были сформированы образцы диаметром 45 мм и высотой 50 мм из минераловатной ваты и алюминиевой фольги по отдельности по пять штук для каждого вида материала, т.е. всего испытуемых образцов было 150 ($15 \times 2 \times 5 = 150$ штук). Толщина алюминиевой фольги с остатками клея составляет порядка 30 мкм, поэтому в соответствии с ГОСТ 30244–94¹ образцы изготавливались из соответствующего количества слоев, обеспечивающих необходимую толщину, примерно 1666 штук для одного образца. Слои материала с целью предотвращения образования между ними воздушных зазоров плотно соединены при помощи тонкой стальной проволоки диаметром 0,5 мм.

Образцы помещались в камеру возгорания, нагретую до температуры 750 °С. По показаниям трех термоэлектрических преобразователей, кото-

Таблица 2. Критерии отнесения строительных материалов к группе негорючих (НГ) согласно ГОСТ 30244–94¹

Table 2. Criteria for classifying building materials as combustible according to GOST 30244–94¹

Показатель Indicator	Значение показателя, не более Indicator value, no more than
Приrost температуры в печи ΔT , °C Furnace temperature increase ΔT , °C	50
Потеря массы образца Δm , % Specimen mass loss Δm , %	50
Продолжительность устойчивого пламенного горения t_b , с Duration of stable flame combustion t_c , s	10

рые расположены у стены камеры, на поверхности и внутри образца, фиксировалась максимальная и конечная температуры, а также наличие пламенного возгорания. По окончании опыта регистрировалась потеря массы каждого образца и рассчитывалось ее изменение в процентах от первоначальной массы.

Дополнительное исследование горючести образцов алюминиевой фольги было проведено тем же методом в другой независимой лаборатории. Исследованию подлежали образцы, изготовленные из тех же самых материалов, но в количестве одного экземпляра для каждого вида материала.

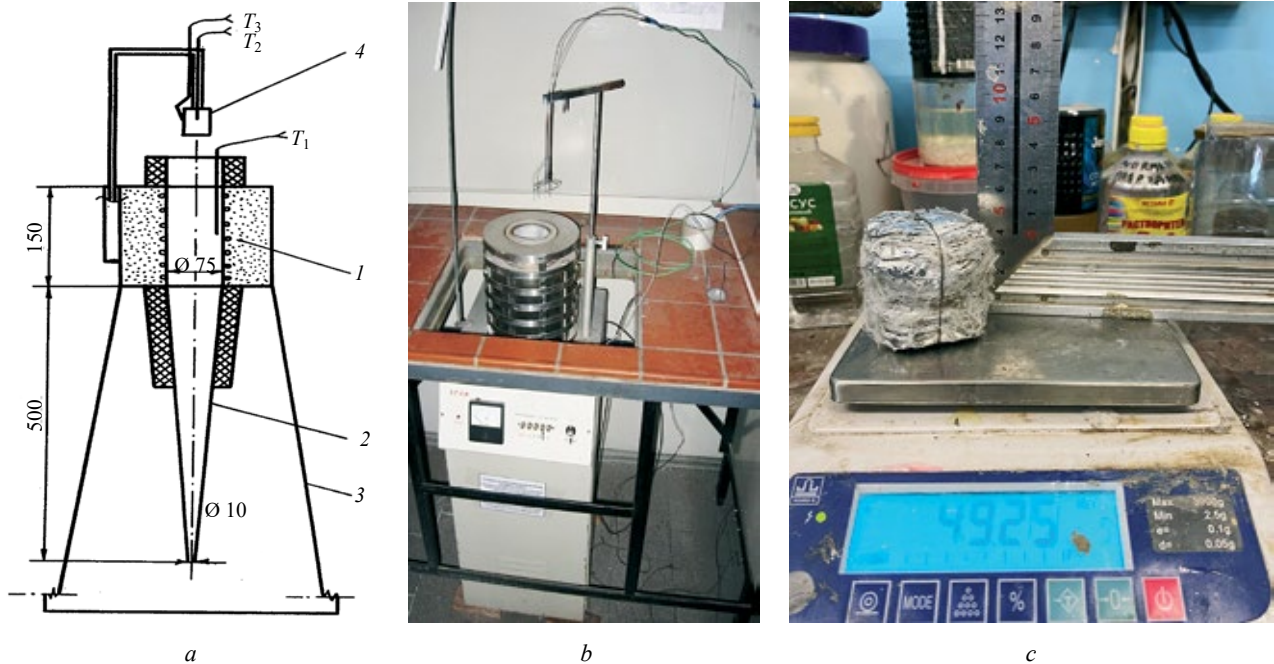


Рис. 2. а — общий вид установки, схема установки для определения группы горючести материалов: 1 — трубчатая электропечь; 2 — стабилизатор; 3 — подставка; 4 — держатель образца; T_1 , T_2 , T_3 — термодатчики; б — внешний вид испытательной установки; в — готовый образец для испытания

Fig. 2. а — general view of the setup, diagram of the setup for determining the flammability group of materials: 1 — tubular electric furnace; 2 — stabilizer; 3 — stand; 4 — specimen holder; T_1 , T_2 , T_3 — thermocouples; б — external view of the test setup; в — the finished specimen for testing

Таблица 3. Условия проведения испытаний
Table 3. Test conditions

Параметр Parameter	Значение Value
Температура окружающей среды, °C Ambient temperature, °C	21–24
Атмосферное давление, кПа Atmospheric pressure, kPa	99,7–103,3
Относительная влажность воздуха, % Relative humidity, %	49,6

Условия проведения испытания представлены в табл. 3.

Продолжительность испытания для каждого образца составляет 30 мин. Испытание может быть прекращено через 30 мин при условии достижения температурного баланса к этому времени (изменение показаний каждой из трех термопар не более чем на 2 °C за 10 мин). Если по истечении 30 мин температурный баланс не будет достигнут хотя бы для одной из трех термопар, испытание будет продол-

жено, проверка наличия температурного баланса будет проходить с интервалом 5 мин.

Результаты и обсуждение

Исследование базальтового покрытия без фольги на негорючесть представлено в табл. 4. Исследованию подлежало 75 образцов (15 видов по 5 штук). В табл. 4 занесены среднеарифметические значения измеряемых параметров (m_n ; m_k ; Δm , %; $T_{пм}$; $T_{пк}$; $\Delta T_{печь}$; $T_{пом}$; $T_{пок}$; $\Delta T_{пов}$; $T_{цм}$; $T_{цк}$; $\Delta T_{вн}$; t_f) по видам материалов (Образец № 1–15).

Во время испытания наблюдалось: изменение цвета у образцов № 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 13, 14; тление ниток у образцов № 5, 8, 9, 10, 14; вспышки у образцов № 11, 12; усадка у образца № 13. После проведения испытания наблюдалось: изменение цвета у образцов № 1, 9, 10, 11, 12, 15; усадка у образца № 7; деформация по высоте у образца № 1. Образец базальта № 1 является горючим материалом согласно ГОСТ 30244–94¹.

Исследование оставшегося слоя от базальтового покрытия (фольга с остатками клея) для

Таблица 4. Сводная таблица контрольных испытаний образцов базальтового волокна, отделенного от алюминиевой фольги базальтового изделия с покрытием (среднеарифметические значения)
Table 4. Summary table of control tests of specimens of basalt fibre separated from aluminum foil (arithmetic mean values)

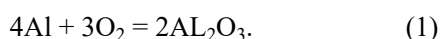
Номер образца Specimen number	Масса образца, г Specimen weight, g			Показания термопар, °C Thermocouple readings, °C									Время горения t_p , с Time t_c , s
	m_n m_i	m_k m_f	Δm , %*	В печи In the furnace			На поверхности On the surface			Внутри образца Inside the specimen			
				$T_{пм}$ T_{fm}	$T_{пк}$ T_{ff}	$\Delta T_{печь}^{**}$ ΔT_{fur}^{**}	$T_{пом}$ T_{ssm}	$T_{пок}$ T_{ssf}	$\Delta T_{пов}$ ΔT_{sur}	$T_{цм}$ T_{cm}	$T_{цк}$ T_{cf}	$\Delta T_{вн}$ ΔT_{in}	
1(1.1–1.5)	5,62	4,92	12,00	977	805	172	941	773	168	799	762	37	40
2(2.1–2.5)	4,26	4,11	3,00	806	803	2	785	783	2	764	762	1	0
3(3.1–3.5)	7,87	7,78	1,14	811	810	1	781	777	4	771	770	1	0
4(4.1–4.5)	9,72	8,68	10,66	796	794	2	791	784	7	767	766	1	0
5(5.1–5.5)	8,75	8,55	2,30	824	823	1	800	798	1	735	734	1	0
6(6.1–6.5)	8,68	8,61	0,80	828	827	1	793	792	1	747	746	1	0
7(7.1–7.5)	7,39	7,21	2,00	826	824	2	788	787	1	759	757	2	0
8(8.1–8.5)	9,46	8,25	12,73	804	801	3	802	796	6	768	767	2	0
9(9.1–9.5)	3,89	3,77	3,00	794	792	2	788	786	2	771	769	2	0
10(10.1–10.5)	7,79	7,70	1,11	792	790	1	786	785	1	773	772	1	0
11(11.1–11.5)	8,60	8,54	0,70	809	808	1	803	801	1	747	742	5	2
12(12.1–12.5)	9,58	9,44	1,40	814	813	1	785	783	2	755	754	1	0
13(13.1–13.5)	7,11	7,03	1,13	824	823	1	791	789	2	763	762	1	0
14(14.1–14.5)	6,72	6,22	1,55	825	824	1	783	781	2	750	748	3	0
15(15.1–15.5)	3,82	3,76	1,53	817	816	2	781	779	2	763	761	2	0

Примечание: * — это среднее арифметическое изменений масс пяти образцов, изготовленных из одного из пятнадцати видов материалов; ** — это среднее арифметическое изменений температуры в печи при испытании пяти образцов, изготовленных из одного из пятнадцати видов материалов. Аналогично вычисляются значения в ячейках таблицы для изменения температуры на поверхности образца $\Delta T_{пов}$ и внутри образца $\Delta T_{вн}$.

Note: * is the arithmetic mean of the changes in masses of five specimens made from one of fifteen types of materials; ** is the arithmetic mean of the changes in oven temperature when testing five specimens made from one of fifteen types of materials. The values in the cells of the table for the temperature change on the surface of the specimen ΔT_{sur} and inside the specimen ΔT_{in} are calculated in the same way.

всех пятнадцати образцов представлено в табл. 5. Исследованию подлежало 75 образцов (15 видов по 5 штук). Аналогично табл. 4 в табл. 5 занесены среднеарифметические значения измеряемых параметров (m_n ; m_k ; Δm , %; $T_{пм}$; $T_{пк}$; $\Delta T_{печь}$; $T_{пом}$; $T_{пок}$; $\Delta T_{пов}$; $T_{цм}$; $T_{цк}$; $\Delta T_{вн}$; t_r) по видам материалов (образец № 1–15).

Исследование показало, что у образцов № 2, 13, 14 при горении увеличилась масса за счет образования оксида алюминия при взаимодействии с кислородом воздуха. Происходит химическая реакция, согласно которой из 4 моль алюминия образуется 2 моль алюминия оксида (1):



Многочисленные исследования методом термического анализа порошков алюминия и его соединений подтверждают данную реакцию [23–26]. На графике (рис. 3) кривая ТГ (термогравиметрическая кривая, красный цвет), характеризующая изменение массы образца в зависимости от тем-

пературы, демонстрирует прирост массы твердой составляющей алюминия при горении на 5,91 %.

Прирост массы образцов минеральной ваты также имеет место быть в некоторых случаях, связанных с окислением исходных продуктов в составе ваты, например окислением Fe^{2+} до Fe^{3+} , поскольку кислород входит в состав волокон в этом процессе, образуя металлические поверхностные оксиды [27]. На рис. 4 показаны графики прироста массы образца на 2,6 %. Таким образом, можно объяснить прирост массы (отрицательное значение в разнице массы до и после проведенных экспериментов) в табл. 4, 5, 6.

После проведения испытания на горючесть образцов наблюдалось изменение цвета у образцов № 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15; усадка по высоте у образцов № 1, 7, 8, 12, 13, 14, 15. Образцы фольги № 1, 2, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 являются горючими согласно ГОСТ 30244–94¹. Таким образом, в ходе первого эксперимента определено, что образцы изделий «базальтовые огнезащитные рулонные с фольгированным покры-

Таблица 5. Сводная таблица контрольных испытаний образцов фольги с остатками клея, отделенной от холста базальтовых супертонких волокон (среднеарифметические значения)

Table 5. Summary table of control tests of foil specimens with adhesive residues separated from the canvas of basalt superfine fibres (arithmetic mean values)

Номер образца Specimen number	Масса образца, г Specimen weight, g			Показания термопар, °C Thermocouple readings, °C									Время горения t_b , с Time t_c , s
	m_n m_i	m_k m_f	Δm , %*	В печи In the furnace			На поверхности On the surface			Внутри образца Inside the specimen			
				T_{nm} T_{fm}	T_{nk} T_{ff}	$\Delta T_{печь}^{**}$ ΔT_{fur}^{**}	T_{nom} T_{ssm}	T_{pok} T_{ssf}	$\Delta T_{пов}$ ΔT_{sur}	T_{nm} T_{cm}	T_{nk} T_{cf}	$\Delta T_{вн}$ ΔT_{in}	
1(1.1–1.5)	5,62	4,92	12,00	977	805	172	941	773	168	799	762	37	40
2(2.1–2.5)	42,88	43,50	–2,00	922	866	56	842	786	56	837	807	30	55
3(3.1–3.5)	53,09	49,75	6,28	815	814	1	743	739	4	786	784	2	0
4(4.1–4.5)	50,86	49,59	2,49	840	838	2	780	778	2	806	803	3	0
5(5.1–5.5)	51,48	25,17	51,10	938	820	118	936	771	165	890	769	120	164
6(6.1–6.5)	45,79	40,86	10,80	801	799	2	789	787	1	771	769	2	0
7(7.1–7.5)	45,61	45,07	1,00	834	832	2	776	774	2	772	770	2	0
8(8.1–8.5)	43,66	43,58	0,12	804	800	4	830	825	5	794	793	1	0
9(9.1–9.5)	36,80	32,61	11,00	956	810	146	817	784	34	774	762	12	31
10(10.1–10.5)	37,78	32,52	13,90	823	820	3	792	790	2	819	797	22	81
11(11.1–11.5)	47,69	33,55	29,60	1036	800	236	919	751	168	876	791	85	207
12(12.1–12.5)	40,51	20,33	49,80	835	810	25	907	741	166	869	785	84	92
13(13.1–13.5)	46,34	62,14	–34,00	1201	840	361	1118	771	347	1204	771	433	0
14(14.1–14.5)	30,19	37,38	–23,86	1144	841	303	1209	827	382	1028	814	213	123
15(15.1–15.5)	33,54	14,23	56,98	1114	841	272	1210	827	384	1028	814	213	117

Примечание: * — это среднее арифметическое изменений масс пяти образцов, изготовленных из одного из пятнадцати видов материалов; ** — это среднее арифметическое изменений температуры в печи при испытании пяти образцов, изготовленных из одного из пятнадцати видов материалов. Аналогично вычисляются значения в ячейках таблицы для изменения температуры на поверхности образца $\Delta T_{пов}$ и внутри образца $\Delta T_{вн}$.

Note: * is the arithmetic mean of the changes in masses of five specimens made from one of fifteen types of materials; ** is the arithmetic mean of the changes in oven temperature when testing five specimens made from one of fifteen types of materials. Similarly, the values in the cells of the table are calculated for the temperature change on the surface of the specimen ΔT_{sur} and inside the specimen ΔT_{in} .

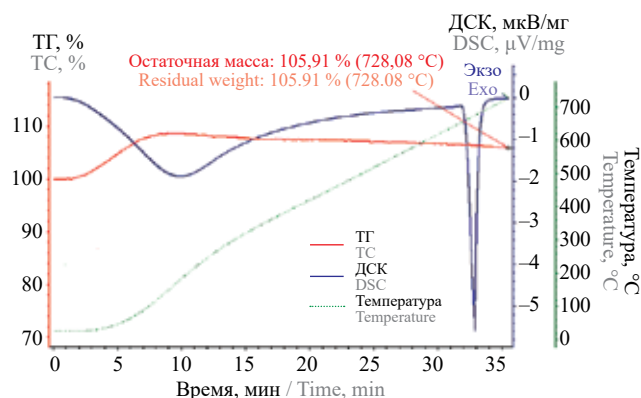


Рис. 3. График термогравиметрического анализа алюминия в атмосфере воздуха при скорости горения 20 °С/мин, где красная кривая — термогравиметрическая кривая (ТГ), синяя — кривая дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), штриховая линия — линия увеличения температуры

Fig. 3. Graph of thermogravimetric analysis of aluminium in air atmosphere at a combustion rate of 20 °C/min, where the red curve is the thermogravimetric curve (TC), the blue curve is the differential scanning calorimetry (DSC) curve, the dashed line is the line of temperature increase

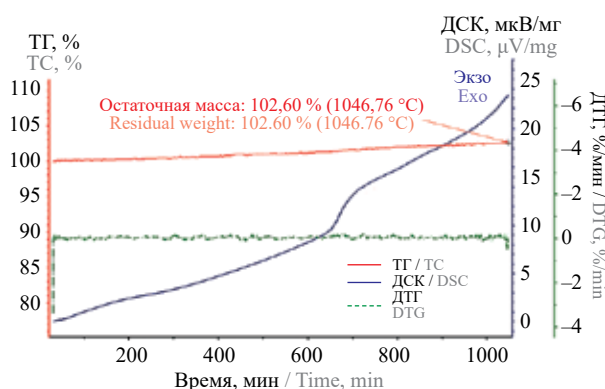


Рис. 4. График термогравиметрического анализа минеральной ваты в атмосфере воздуха при скорости горения 20 °С/мин, где красная кривая — термогравиметрическая кривая (ТГ), синяя — кривая дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), штриховая линия — линия увеличения температуры

Fig. 4. Graph of thermogravimetric analysis of mineral wool in air atmosphere at a combustion rate of 20 °C/min, where the red curve is the thermogravimetric curve (TC), the blue curve is the differential scanning calorimetry (DSC) curve, the dashed line is the line of temperature increase

Таблица 6. Сводная таблица контрольных испытаний образцов фольги с остатками клея, отделенной от холста базальтовых супертонких волокон (лаборатория № 2)

Table 6. Summary table of control tests of foil specimens with adhesive residues separated from the canvas of basalt superfine fibres (laboratory No. 2)

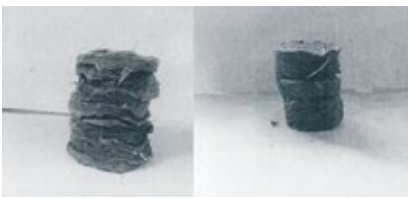
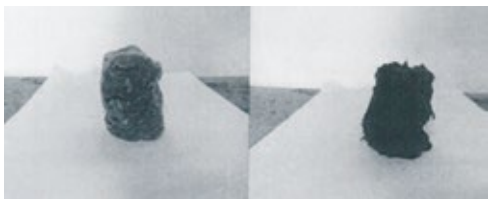
Номер образца Specimen number	Масса образца, г Specimen weight, g			Показания термопар, °C Thermocouple readings, °C									Время горения t_r , с Time t_c , s
	m_n m_i	m_k m_f	Δm , %*	В печи In the furnace			На поверхности On the surface			Внутри образца Inside the specimen			
				T_{nm} T_{fm}	T_{nk} T_{ff}	$\Delta T_{печь}^{**}$ ΔT_{fur}^{**}	T_{nom} T_{ssm}	T_{nok} T_{ssf}	$\Delta T_{пов}$ ΔT_{sur}	T_{nm} T_{cm}	T_{nk} T_{cf}	$\Delta T_{вн}$ ΔT_{in}	
1	49,25	47,00	4,56	742	742	0	30	330	300	30	402	372	> 25
2	64,50	59,15	8,29	750	750	0	30	352	322	30	352	322	> 20
3	82,70	85,25	−3,08	960	750	210	990	750	240	960	750	210	> 45
4	64,15	63,00	1,79	950	750	200	890	750	140	935	750	185	> 30
5	63,95	62,45	2,34	712	750	38	30	614	584	30	259	229	> 30
6	81,05	71,70	11,53	774	755	19	755	744	11	758	756	2	0
7	85,00	85,50	−0,58	762	753	9	750	738	12	756	748	8	0
8	82,95	88,25	−6,38	1016	750	266	1094	750	344	1004	750	254	> 100
9	39,60	21,60	45,45	945	757	188	826	737	89	782	737	45	> 50
10	60,65	56,25	7,25	750	845	95	30	816	786	30	277	247	> 40
11	49,95	45,05	9,80	750	754	4	30	373	343	30	196	166	> 30
12	48,40	47,65	1,54	735	750	15	30	249	219	30	369	339	> 30
13	82,30	83,50	−1,45	895	750	145	847	750	97	1092	750	342	> 100
14	74,45	74,00	0,60	963	750	213	883	750	133	1106	750	356	> 100
15	53,00	51,25	3,30	740	750	10	30	294	264	30	273	243	> 30

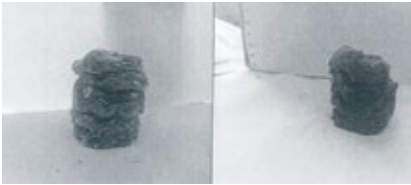
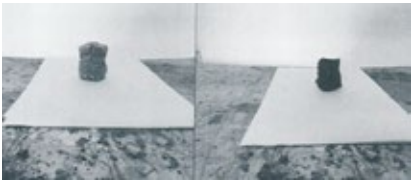
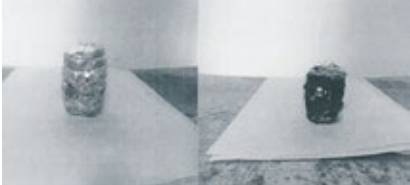
тием» с одной стороны под номерами № 3, 4, 6, 7 и 8 относятся к негорючим материалам. В табл. 7 представлены фотографии с образцами до и после испытания (один образец из пяти для каждого вида материала).

Образцы фольги с остатками клея, отделенные от холста базальтовых супертонких волокон, № 1–15 были дополнительно параллельно испытаны на аттестованном оборудовании в лаборатории № 2, результаты представлены в табл. 6. Исследования

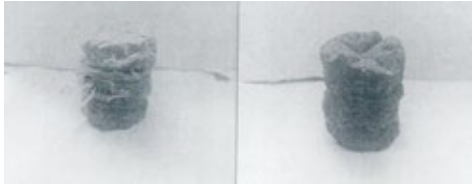
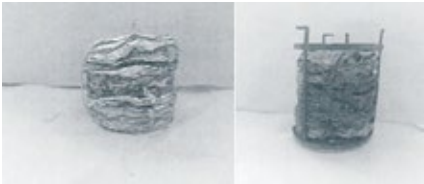
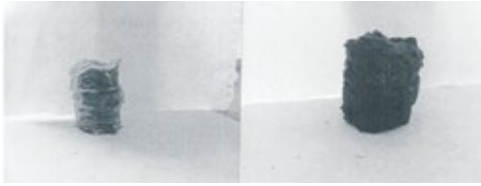
Таблица 7. Вид образцов до и после испытания

Table 7. Type of specimens before and after the test

Номер образца Specimen number	Базальтовое волокно до и после испытаний Basalt fibre before and after testing	Алюминиевая фольга до и после испытаний Aluminum foil before and after testing
1 (1.1)		
2 (2.1)		
3 (3.1)		
4 (4.1)		
5 (5.1)		
6 (6.1)		

Номер образца Specimen number	Базальтовое волокно до и после испытаний Basalt fibre before and after testing	Алюминиевая фольга до и после испытаний Aluminum foil before and after testing
7 (7.1)		
8 (8.1)		
9 (9.1)		
10 (10.1)		
11 (11.1)		
12 (12.1)		
13 (13.1)		

Окончание табл. 7 / End of the Table 7

Номер образца Specimen number	Базальтовое волокно до и после испытаний Basalt fibre before and after testing	Алюминиевая фольга до и после испытаний Aluminum foil before and after testing
14 (14.1)		
15 (15.1)		

нию подлежали образцы, изготовленные из тех же самых материалов.

Во время испытания аналогичным образом, как и в первом исследовании (табл. 5), наблюдается прирост массы алюминия при горении. У образцов № 1, 2, 3, 4, 5, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15 наблюдалось изменение цвета; усадка по высоте произошла у образцов № 5, 9, 12, 15. При повторном испытании негорючими оказались только образцы № 6 и 7. Вид образцов после испытания представлен в табл. 8.

Проанализировав результаты двух испытаний по определению горючести образцов, можно заключить, что образцы № 6 и 7 являются негорючими, а образцы № 3, 4 и 8 требуют дополнительного изучения, так как они в разных экспериментах показали противоречивые результаты.

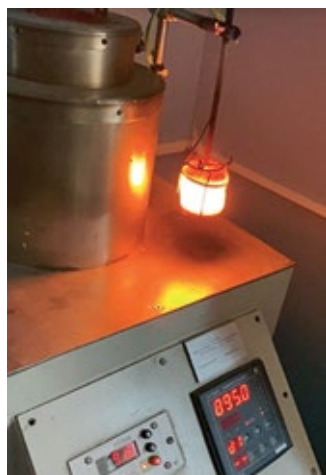
У всех образцов № 3, 4 и 8 при испытании возникала ранее не наблюдавшаяся у других образцов реакция — температура внутри образца линейно поднималась до значений, равных температуре плавления алюминия $\approx 660^\circ\text{C}$, далее наступала временная стабиль-

Таблица 8. Вид образцов (фольга с остатками клея) после испытания в лаборатории № 2

Table 8. Type of specimens (foil with adhesive residues) after testing in laboratory No. 2

Номер образца Specimen number	Вид Type	Номер образца Specimen number	Вид Type	Номер образца Specimen number	Вид Type
1		2		3	
4		5		6	

Номер образца Specimen number	Вид Type	Номер образца Specimen number	Вид Type	Номер образца Specimen number	Вид Type
7		8		9	
10		11		12	
13		14		15	



a



b

Рис. 5. Образец после извлечения из печи: *a* — наступила реакция; *b* — реакции не наблюдалось

Fig. 5. Specimen after extraction from the furnace: *a* — the reaction occurred; *b* — the reaction was not observed

лизация, после чего температура возрастала выше значения 750°C , поддерживаемого в канале печи испытательной установки, и через определенное время начинала резко расти. Образец начинал визуально светиться (рис. 5), наблюдалось дымовыделение, температура на поверхности и в канале печи вслед за температурой внутри образца превышала 900°C .

При испытании на негорючесть алюминиевой фольги с остатками силикатного клея (образец № 3, 4, 8) происходит взаимодействие расплавленного алюминия с натрием или калием, окислы которых находятся в составе силикатных клеев. Данное взаимодействие приводит к алюминотермической реакции, протекающей с выделением большого количества тепла. Температура алюминотермической реакции может достигать 3000°C [24, 28], причем восстановленный расплавленный металл нагревается до белого каления, что и наблюдается на рис. 4.

Выводы

Исследование пятнадцати образцов рулонов утеплителя из базальтового супертонкого волокна, кашированного алюминиевой фольгой, согласно методу, определяемому как «негорючесть» для строительных и теплоизоляционных материалов, позволяет сделать следующие выводы:

1. Десять образцов из исследуемых материалов не соответствуют требованиям негорючести согласно стандарту; три образца материала изготовлены из негорючих составляющих, но при этом сочетание алюминиевой фольги и силикатного клея приводит к возможности возникновения алюмини-термической реакции, при которой температура может достигать 3000 °С.

2. Только два образца материала из пятнадцати оказались негорючими, они полностью соответствуют актуальным требованиям по пожарной безопасности и могут применяться без ограничений.

3. Исследования показали, что испытать каждый слой образцов недостаточно: необходимо исследовать на показатель негорючести и весь материал

в целом. По отдельности базальтовый холст, алюминиевая фольга и отвердевший силикатный клей являются негорючими материалами, а комбинация фольги и клея привела к реакции, при которой температура достигала выше 1000 °С и термопары приходили в неисправное состояние.

4. На основе статистических данных для различных материалов из комбинированных слоев в нормативные документы в перспективе следует ввести положение, что при испытании многослойного материала на негорючесть необходимо испытывать не только каждый слой по отдельности, но также и весь материал полностью, так как комбинирование различных, пусть и негорючих компонентов может привести к аддитивным эффектам и далее определяться уже как горючий материал.

5. После проведения соответствующих научно-исследовательских работ рекомендуется рассмотреть возможность изменений в ГОСТ 30244–94¹ в части метода I — корректировку значений параметров горючести для классификации строительных материалов по классам «горючие» и «негорючие».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Портнов Ф.А., Еремина Т.Ю., Корольченко Д.А. Обеспечение огнестойкости воздуховодов систем дымоудаления с огнезащитными покрытиями // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 9. С. 24–30. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.09.24-30. EDN ZQTEPX.
2. Королева Т.И., Каледа И.А., Ивачев М.А. Противодымная защита жилых зданий повышенной этажности // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2020. № 27 (2). С. 166–175. EDN YZWDNH.
3. Zybina O., Gravit M. Intumescent coatings for fire protection of building structures and materials // Springer Series on Polymer and Composite Materials. 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-59422-0
4. Zhang C. Thermal properties of intumescent coatings in fire // Reliability of Steel Columns Protected by Intumescent Coatings Subjected to Natural Fires. 2015. Pp. 37–50. DOI: 10.1007/978-3-662-46379-6_4
5. Кропачев Р.В., Новокионов В.В., Вольфсон С.И., Михайлова С.Н. Терморасширяющиеся полимерные композиционные материалы // Вестник Казанского технологического университета. 2015. № 5 (18). С. 60–63. EDN TOUASX.
6. Колчев Б.Б., Вислогузов П.А., Беляев Д.В. Огнестойкие воздуховоды систем вентиляции и кондиционирования // Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях. 2017. № 3. С. 24–27.
7. Jagadeesh P., Rangappa S.M., Siengchin S. Basalt fibers: An environmentally acceptable and sustainable green material for polymer composites // Construction and Building Materials. 2024. No. 436. P. 136834. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.136834
8. Pang Y., Zhong Z., Liu H., Rao L. Research on Fire-Resistant Fabric Properties of Basalt Fiber // Applied Mechanics and Materials. 2012. Pp. 1151–1154. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.217-219.1151
9. Gravit M., Prusakov V., Shcheglov N., Kotlyarskaya I. Fire Protection of Steel Structures of Oil and Gas Facilities: Multilayer, Removable, Non-Combustible Covers // Fire. 2024. Vol. 7. P. 86. DOI: 10.3390/fire7030086.
10. Prusakov V.A., Gravit M.V., Simonenko Y.B. Superthin Basalt Fiber as the Base of a Matrix of the Fire-Resistant Filling of Deformation Joints in Building Structures // Glass Physics and Chemistry. 2023. No. 1 (49). Pp. 75–80. DOI: 10.1134/S1087659622600879
11. Рубинов И. Выбрать оптимальное решение для защиты от огня строительных конструкций // ТехНадзор. 2013. № 79 (6). С. 94–95. EDN WITVAT.
12. Gravit M., Dmitriev I. Numerical modeling of basalt roll fire-protection for light steel thin-walled structures // Magazine of Civil Engineering. 2022. No. 4 (112). Pp. 11215–11215. DOI: 10.34910/MCE.112.15

13. Kotlyarskaya I.L., Vatin N.I., Gravit M.V., Abdikarimov R.A., Shinkareva M.K. Fire resistance of enclosing structures in modular construction : a review // AlfaBuild. 2023. No. 4 (29). Pp. 2906–2906. DOI: 10.57728/ALF.29.6
14. Vasileva I.L., Nemova D.V. Prospects of using aerogels in construction // AlfaBuild. 2018. No. 4 (6). Pp. 135–145. DOI: 10.34910/ALF.6.12
15. Ruffen C., Mahltig B. Basalt fibers as functional additives in coating of textiles // Journal of Coatings Technology and Research. 2021. No. 1 (18). Pp. 271–281. DOI: 10.1007/S11998-020-00383-8/TABLES/1
16. Гапоненко С.О., Фазлиев Р.А., Калинина М.В. Метод повышения эффективности тепловой изоляции трубопроводов систем теплоснабжения путем применения отражающего элемента // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. № 49 (1). С. 204–216. EDN XFDYEV.
17. Tenpierik M.J., Hasselaar E. Reflective multi-foil insulations for buildings : a review // Energy and Buildings. 2013. No. 56. Pp. 233–243. DOI: 10.1016/J.ENBUILD.2012.10.003
18. Budykina T., Anosova Y. Thermal resistance of fire retardant materials // Magazine of Civil Engineering. 2022. No. 4 (112). Pp. 11213–11213. DOI: 10.34910/MCE.112.13. EDN TNAYQX.
19. Гравит М.В., Недрышкин О.В., Вайтицкий А.А., Шнакова А.М., Нигматулина Д.Г. Пожарно-технические характеристики строительных материалов в европейских и российских нормативных документах. Проблемы гармонизации методов исследования и классификации // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2016. № 10 (25). С. 16–29. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.10.16-29
20. Kim J., Song H., Shin H. Flame resistance performance of architectural membranes using basalt woven fabric // Fire Science and Engineering. 2016. No. 2 (30). Pp. 35–42. DOI: 10.7731/KIFSE.2016.30.2.035
21. Sánchez M.A., Sutton W.H., Sánchez C.A. Simulations of thermal performance for one- and two-dimensional insulation and aluminum foil fire barriers // Proceedings of the International Conference on Nuclear Engineering (ICONE12). 2008. No. 3. Pp. 89–95. DOI: 10.1115/ICONE12-49265
22. Skorodumova O., Tarakhno O., Babayev A., Chernukha A., Shvydka S. Study of phosphorus-containing silica coatings based on liquid glass for fire protection of textile materials // Key Engineering Materials. 2023. No. 954. Pp. 167–175. DOI: 10.4028/P-HGYQ9V
23. Коротких А.Г., Слюсарский К.В., Сорокин И.В. Кинетика термического окисления порошков AL, B, ALB₂ и ALB₁₂ // Химическая физика и мезоскопия. 2020. № 2 (22). С. 164–174. DOI: 10.15350/17270529.2020.2.16. EDN PGIDIA.
24. Макаров Г.С. О горении алюминия // Технология легких сплавов. 2021. № 1. С. 81–91. DOI: 10.24412/0321-4664-2021-1-81-91
25. Макаров Г.С. Эволюция плавки алюминиевых сплавов // Технология легких сплавов. 2018. № 3. С. 28–53. EDN YLFMIP.
26. Попенко Е.М., Ильин А.П., Громов А.М. Горение в воздухе промышленных порошков алюминия // Физика горения и взрыва. 2002. № 2 (38). С. 36–41.
27. Smedskjaer M.M., Solvang M., Yue Y. Crystallisation behaviour and high-temperature stability of stone wool fibres // Journal of the European Ceramic Society. 2010. No. 6 (30). Pp. 1287–1295. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2009.12.009
28. Богословский С.Ю., Кузнецов Н.Н., Атангулова А.Д. Модифицированный эксперимент по алюминотермии в студенческом практикуме по химии // Международный журнал экспериментального образования. 2023. № 2. С. 17–21. DOI: 10.17513/mjeo.12122

REFERENCES

1. Portnov F.A., Eremina T.Yu., Korolchenko D.A. Ensuring fire resistance of air ducts of smoke extraction systems with fire-resistant coatings. *Industrial and civil construction*. 2021; 9:24-30. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.09.24-30. EDN ZQTEPX. (rus).
2. Koroleva T.I., Kolyada I.A., Ivachev M.A. Smoke protection of high-rise residential buildings. *Education and science in the modern world. Innovation*. 2020; 27(2):166-175. EDN YZWDNH. (rus).
3. Zybina O., Gravit M. Intumescent coatings for fire protection of building structures and materials. *Springer Series on Polymer and Composite Materials*. 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-59422-0
4. Zhang C. Thermal Properties of Intumescent Coatings in Fire. *Reliability of Steel Columns Protected by Intumescent Coatings Subjected to Natural Fires*. 2015; 37-50. DOI: 10.1007/978-3-662-46379-6_4
5. Kropachev R.V., Novokshonov V.V., Wolfson S.I., Mikhailova S.N. Thermally expanding polymer composite materials. *Bulletin of the Kazan Technological University*. 2015; 5(18):60-63. EDN TOUASX. (rus).
6. Kolchev B.B., Visloguzov P.A., Belyaev D.V. Fire-resistant air ducts of ventilation and air conditioning systems. *Occupational health and safety at industrial enterprises*. 2017; 3:24-27. (rus).

7. Jagadeesh P., Rangappa S.M., Siengchin S. Basalt fibers: An environmentally acceptable and sustainable green material for polymer composites. *Construction and Building Materials*. 2024; 436:136834. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.136834
8. Pang Y., Zhong Z., Liu H., Rao L. Research on fire-resistant fabric properties of basalt fiber. *Applied Mechanics and Materials*. 2012; 1151-1154. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.217-219.1151
9. Gravit M., Prusakov V., Shcheglov N., Kotlyarskaya I. Fire protection of steel structures of oil and gas facilities: multilayer, removable, non-combustible covers. *Fire*. 2024; 7:86. DOI: 10.3390/fire7030086
10. Prusakov V.A., Gravit M.V., Simonenko Y.B. Superthin basalt fiber as the base of a matrix of the fire-resistant filling of deformation joints in building structures. *Glass Physics and Chemistry*. 2023; 1(49):75-80. DOI: 10.1134/S1087659622600879
11. Rubinov I. To choose the optimal solution for fire protection of building structures. *Technical Supervision*. 2013; 79(6):94-95. EDN WITVAT. (rus).
12. Gravit M., Dmitriev I. Numerical modeling of basalt roll fire-protection for light steel thin-walled structures. *Magazine of Civil Engineering*. 2022; 4(112):11215-11215. DOI: 10.34910/MCE.112.15
13. Kotlyarskaya I.L., Vatin N.I., Gravit M.V., Abdikarimov R.A., Shinkareva M.K. Fire resistance of enclosing structures in modular construction : a review. *AlfaBuild*. 2023; 4(29):2906-2906. DOI: 10.57728/ALF.29.6
14. Vasileva I.L., Nemova D.V. Prospects of using aerogels in construction. *AlfaBuild*. 2018; 4(6):135-145. DOI: 10.34910/ALF.6.12
15. Ruffen C., Mahltig B. Basalt fibers as functional additives in coating of textiles. *Journal of Coatings Technology and Research*. 2021; 1(18):271-281. DOI: 10.1007/S11998-020-00383-8/TABLES/1
16. Gaponenko S.O., Fazliev R.A., Kalinina M.V. Method of increasing the efficiency of thermal insulation of pipelines of heat supply systems by using a reflective element. *Bulletin of the Kazan State Energy University*. 2021; 49(1):204-216. EDN XFDYEV. (rus).
17. Tenpierik M.J., Hasselaar E. Reflective multi-foil insulations for buildings : a review. *Energy and Buildings*. 2013; 56:233-243. DOI: 10.1016/J.ENBUILD.2012.10.003
18. Budykina T., Anosova Y. Thermal resistance of fire retardant materials. *Magazine of Civil Engineering*. 2022; 4(112):11213-11213. DOI: 10.34910/MCE.112.13. EDN TNAYQX.
19. Gravit M.V., Nedryshkin O.V., Vaititsky A.A., Shpakova A.M., Nigmatulina D.G. Fire-technical characteristics of building materials in European and Russian regulatory documents. Problems of harmonization of research methods and classification. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2016; 10(25):16-29. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.10.16-29 (rus).
20. Kim J., Song H., Shin H. Flame Resistance Performance of Architectural Membranes Using Basalt Woven Fabric. *Fire Science and Engineering*. 2016; 2(30):35-42. DOI: 10.7731/KIFSE.2016.30.2.035
21. Sánchez M.A., Sutton W.H., Sánchez C.A. Simulations of thermal performance for one- and two-dimensional insulation and aluminum foil fire barriers. *Proceedings of the International Conference on Nuclear Engineering (ICONE12)*. 2008; 3:89-95. DOI: 10.1115/ICONE12-49265
22. Skorodumova O., Tarakhno O., Babayev A., Chernukha A., Shvydka S. Study of phosphorus-containing silica coatings based on liquid glass for fire protection of textile materials. *Key Engineering Materials*. 2023; 954:167-175. DOI: 10.4028/P-HGYQ9V
23. Korotkikh A.G., Slyusarskiy K.V., Sorokin I.V. Kinetics of thermal oxidation of AL, B, ALB₂ and ALB₁₂ powders. *Chemical Physics and Mesoscopy*. 2020; 2(22):164-174. DOI: 10.15350/17270529.2020.2.16. EDN PGIDIA. (rus).
24. Makarov G.S. On the gorenje of aluminum. *Technology of light alloys*. 2021; 1:81-91. DOI: 10.24412/0321-4664-2021-1-81-91 (rus).
25. Makarov G.S. Evolution of melting of aluminium alloys. *Technology of light alloys*. 2018; 3:28-53. EDN YLFMIP. (rus).
26. Popenko E.M., Ilyin A.P., Gromov A.M. Combustion in air of industrial aluminium powders. *Physics of combustion and explosion*. 2002; 2(38):36-41. (rus).
27. Smedskjaer M.M., Solvang M., Yue Y. Crystallisation behaviour and high-temperature stability of stone wool fibres. *Journal of the European Ceramic Society*. 2010; 6(30):1287-1295. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2009.12.009
28. Bogoslovsky S.Yu., Kuznetsov N.N., Atangulova A.D. Modified experiment on aluminothermy in a student's chemistry workshop. *International Journal of Experimental Education*. 2023; 2:17-21. DOI: 10.17513/mjeo.12122 (rus).

Поступила 18.09.2024, после доработки 26.01.2025;

принята к публикации 04.02.2025

Received September 18, 2024; Received in revised form January 26, 2025;

Accepted February 4, 2025

Информация об авторах

ГРАВИТ Марина Викторовна, к.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории механики многокомпонентных и многофазных сред, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, литера Б; ORCID: 0000-0003-1071-427X; ResearcherID: B-4397-2014; Scopus AuthorID: 56826013600; e-mail: marina.gravit@mail.ru

ЗЫБИНА Ольга Александровна, д.т.н., доцент, заведующая кафедрой пожарной безопасности, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, литера Б; ORCID: 0000-0001-9401-7206; ResearcherID: Q-4451-2017; Scopus AuthorID: 6504571187; e-mail: zybina_oa@spbstu.ru

КОТЛЯРСКАЯ Ирина Леонидовна, младший научный сотрудник лаборатории защищенных и модульных сооружений, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, литера Б; ORCID: 0000-0002-8396-4870; ResearcherID: ABE-1858-2021; Scopus AuthorID: 57208300172; e-mail: iravassilek@mail.ru

ЯСКОЛКО Михаил Борисович, президент, ООО «Коллегия Независимых Экспертов», Россия, 350007, г. Краснодар, ул. Заводская, 18, кв. 3; e-mail: mb0346@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Marina V. GRAVIT, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Lead scientific co-workers Laboratory of Mechanics of Multicomponent and Multiphase Media, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, litera B, 29 Politekhnikeskaya st., Saint Petersburg, 195251, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-1071-427X; ResearcherID: B-4397-2014; Scopus AuthorID: 56826013600; e-mail: marina.gravit@mail.ru

Olga A. ZYBINA, Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Fire Safety, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, litera B, 29 Politekhnikeskaya st., Saint Petersburg, 195251, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-9401-7206; ResearcherID: Q-4451-2017; Scopus AuthorID: 6504571187; e-mail: zybina_oa@spbstu.ru

Irina L. KOTLYARSKAYA, Jr. scientific co-workers Laboratory of Secure and Modular Structures, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, litera B, 29 Politekhnikeskaya st., Saint Petersburg, 195251, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-8396-4870; ResearcherID: ABE-1858-2021; Scopus AuthorID: 57208300172; e-mail: iravassilek@mail.ru

Mikhail B. YASKOLKO, President, LLC "Collegium of Independent Experts", sq. 3, 18 Zavodskaya st., Krasnodar, 350007, Russian Federation; e-mail: mb0346@mail.ru

Contribution of the authors: *the authors contributed equally to this article.*

The authors declare no conflict of interest.