

Научная статья

УДК 666.9-129

DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-6-64-72

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТЕПЛОЗВУКОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА МАРКИ ВТИ-29

И.Э. Салимов¹, А.С. Беспалов¹, В.Г. Бабашов¹, А.А. Шаркалов¹

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

Аннотация. Исследованы основные эксплуатационные свойства теплозвукоизоляционного материала марки ВТИ-29: плотность, коэффициент звукопоглощения, коэффициент теплопроводности, потеря массы после выдержки в течение 168 ч при температуре 70 °С, сорбционная влажность после выдержки в течение 30 сут при температуре 22±5 °С и относительной влажности воздуха $\varphi = 98 \%$, время остаточного горения и длина прогорания. Установлено, что материал марки ВТИ-29 не уступает по свойствам материалам Microlite AA blankets и АТМ-1, а по значениям плотности, коэффициента звукопоглощения и сорбционной влажности превосходит их.

Ключевые слова: волокнистый теплозвукоизоляционный материал, плотность, коэффициент звукопоглощения, коэффициент теплопроводности, сорбционная влажность, распространение пламени

Для цитирования: Салимов И.Э., Беспалов А.С., Бабашов В.Г., Шаркалов А.А. Исследование эксплуатационных свойств теплозвукоизоляционного материала марки ВТИ-29 // Труды ВИАМ. 2025. № 6 (148). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-6-64-72.

Scientific article

THERMAL AND SOUND INSULATION MATERIAL OF THE VTI-29 BRAND: STUDY OF OPERATIONAL PROPERTIES

I.E. Salimov¹, A.S. Bepalov¹, V.G. Babashov¹, A.A. Sharkalov¹

¹Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

Abstract. The main operational properties of the thermal and sound insulation material of the VTI-29 brand were studied, including: density, sound absorption coefficient, thermal conductivity coefficient, mass loss after 168 hours at a temperature of 70 °C, sorption humidity after 30 days at a temperature of 22±5 °C and relative air humidity $\varphi = 98 \%$, residual combustion time and burnout length. It was established that the thermal and sound insulation material of the VTI-29 brand is comparable to Microlite AA blankets and АТМ-1 materials, while in terms of density, sound absorption coefficient and sorption humidity, it surpasses them.

Keywords: fibrous thermal and sound insulating material, lighting, sound absorption coefficient, thermal conductivity coefficient, sorption humidity, flame propagation

For citation: Salimov I.E., Bepalov A.S., Babashov V.G., Sharkalov A.A. Thermal and sound insulation material of the VTI-29 brand: study of operational properties. *Trudy VIAM*, 2025, no. 6 (148), paper no. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-6-64-72.

Введение

В основе создания человеком всего нового лежит определенная идея, но для ее реализации как минимум необходимы инструменты, материалы и специалисты, осуществляющие эту идею. Современные задачи по созданию антропогенных объектов требуют нестандартных решений, и зачастую только рабочих рук бывает недостаточно. В настоящее время большой объем производства, воспроизводимых результатов и высокое качество продукции обеспечиваются благодаря разработкам новейшего оборудования, роботизации и автоматизации систем управления производством, а в некоторых случаях – даже благодаря применению искусственного интеллекта. Развитие авиастроительной отрасли, связанное с ужесточением требований к безопасности и уровню комфорта пассажиров, а также к уменьшению удельного расхода топлива и повышению удельной тяги двигателей, диктует необходимость создания материалов с новым уровнем свойств. Перед материаловедом ставятся сложнейшие задачи по разработке технологий получения материалов, связанные с созданием оборудования для их производства.

Стремление к независимости от поставок импортных материалов, доля применения которых в современных отечественных грузопассажирских самолетах составляет до 70 %, должно способствовать не только импортозамещению, но и разработке конкурентоспособной продукции и технологий производства, чтобы в дальнейшем ориентироваться на внешний рынок для экспорта. В частности, существует потребность в разработке технологии получения теплозвукоизоляционного материала взамен материала марки Microlite AA blankets производства фирмы Jonson Marvell (США), поставки которого в РФ приостановлены, и отечественного аналога – материала марки АТМ-1, выпуск которого прекращен, причем восстановление оборудования и технологии для его производства, в том числе сырьевой базы, – крайне сложная задача, требующая больших капиталовложений и значительных человеческих ресурсов.

Поэтому необходимо создать отечественный гибкий теплозвукоизоляционный волокнистый материал низкой плотности, превосходящий по характеристикам материалы Microlite AA blankets и АТМ-1, и технологию его производства. Такой материал должен обладать низкими плотностью и теплопроводностью, высокими гидрофобными и звукопоглощающими свойствами, сохранять работоспособность в условиях циклических тепловых нагрузок и вибраций, а также отвечать современным требованиям по пожарной безопасности. В НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ создан большой научный задел в области разработок волокнистых теплозвукоизоляционных материалов для летательных аппаратов [1–8] как на основе волокон растительного (марка АТИМХ – из хлопка) и животного (марка АТИМО – из оленьей шерсти) происхождения, так и на основе синтетических волокон (материалы марок ВТ4 и ВТ4С – из штапельного капронового волокна с полиамидным клеем в качестве связующего), а также упомянутого ранее материала марки АТМ-1 из стеклянных волокон и фенолформальдегидного связующего.

Основной задачей при разработке нового теплозвукоизоляционного материала являлось достижение оптимальных теплофизических и физико-механических свойств, что обеспечивалось определенными технологическими параметрами его получения, включая технологию производства связующего и разработку экспериментальной установки, на которой возможно достичь заданных параметров.

Разработанная экспериментальная установка по получению материала методом аэрационного осаждения стеклянных и керамических волокон позволяет достичь высокой пористости за счет хаотичного расположения волокон в объеме материала, что в свою очередь позволяет придать ему высокие теплоизоляционные и звукопоглощающие

свойства. Преимуществом данной установки является ее компактность, простота и возможность получения образцов широкой номенклатуры, так как в качестве исходного сырья могут использоваться волокна разных видов и различные связующие. Это дает возможность использовать устройство для получения различных видов теплоизоляционных материалов в зависимости от требований заказчика, а также в качестве лабораторной установки для сравнения свойств получаемых материалов. Например, при последовательной загрузке различных видов волокон (таких как стеклянные, минеральные, органические, растительные) можно получить слоистый материал, а при загрузке смеси различных волокон – комбинированный тип теплоизоляционного материала. Еще одно преимущество данной установки – возможность производства теплозвукоизоляционных материалов на любой площадке без совмещения с производством волокна [9].

Разработанное связующее марки ВС-74, помимо гибкости и упругости, придает пожаробезопасные свойства (небольшое выделение дыма, ограниченное распространение пламени при воздействии теплового потока и склонность к самозатуханию), а также гидрофобность теплозвукоизоляционному материалу [10–12] за счет введения дополнительных компонентов – гидрофобизаторов. Разработанному в соответствии с поставленной задачей материалу присвоена марка ВТИ-29.

В данной статье исследованы основные эксплуатационные свойства теплозвукоизоляционного материала марки ВТИ-29, такие как плотность, коэффициент теплопроводности, потеря массы материала после выдержки в течение 168 ч при температуре 70 °С, коэффициент звукопоглощения, сорбционная влажность после выдержки в течение 30 сут при температуре 22±5 °С и относительной влажности воздуха $\varphi = 98 \%$, время остаточного горения и длина прогорания материала.

Материалы и методы

Объект исследования – образцы гибкого волокнистого теплозвукоизоляционного материала низкой плотности марки ВТИ-29, которые получены аэрационным осаждением волокна (из стекла типа Е) с послойным нанесением связующего марки ВС-74. Нанесение связующего на стекловолотно при изготовлении образцов гибкого теплозвукоизоляционного материала марки ВТИ-29 проводили в экспериментальной установке для аэрационного осаждения стеклянных и керамических волокон [9]. Данная установка позволяет получать волокнистые теплозвукоизоляционные материалы низкой плотности (от 7 кг/м³). Достижение таких низких плотностей материала в данной установке возможно благодаря первоначальному разделению волокон в камере диспергирования с помощью сжатого воздуха с последующим осаждением их в камере волокноосаждения, оборудованной форсунками для нанесения связующего в процессе осаждения волокон.

Объектом исследования также являются образцы аналогов материала ВТИ-29 из теплозвукоизоляционных материалов Microlite AA blankets фирмы Jonson Marvell (США) и отечественного АТМ-1.

В данной работе определены следующие характеристики образцов гибкого волокнистого теплозвукоизоляционного материала низкой плотности марки ВТИ-29:

- плотность в соответствии с методикой из ГОСТ 17177–94;
- коэффициент теплопроводности в соответствии с методикой из ГОСТ 7076–99;
- потеря массы после выдержки в течение 168 ч при температуре 70 °С в соответствии с методикой из ГОСТ 2678–94;
- коэффициент звукопоглощения в соответствии с методикой из ISO 10534-2 и ASTM E1050;

– сорбционная влажность после выдержки в течение 30 сут при температуре 22 ± 5 °С и относительной влажности воздуха $\varphi = 98$ % в соответствии с методикой из ГОСТ 17177–94;

– время остаточного горения и длина прогорания в соответствии с АП-25, Приложение F, Часть VI.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

Результаты и обсуждение

Результаты исследований плотности, коэффициентов звукопоглощения и теплопроводности, потери массы после выдержки в течение 168 ч при температуре 70 °С, сорбционной влажности после выдержки в течение 30 сут при температуре 22 ± 5 °С и относительной влажности воздуха $\varphi = 98$ % образцов из теплозвукоизоляционного материала низкой плотности марки ВТИ-29 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные эксплуатационные характеристики образцов теплозвукоизоляционного материала низкой плотности марки ВТИ-29 и их сравнение с материалами марок Microlite AA blankets и АТМ-1

Характеристика	Значения характеристик для		
	материала ВТИ-29	зарубежного аналога – теплозвукоизоляционного материала Microlite AA blankets фирмы Jonson Marvell (США)	отечественного аналога – теплозвукоизоляционного материала АТМ-1
Плотность, кг/м ³	9,0±0,6	9,60±0,96	9,8±0,2
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,050±0,002 (при 100 °С)	0,051±0,002 (при 93 °С)	0,047±0,002 (при 100 °С)
Потеря массы при 70 °С и выдержке 168 ч, %	0,21±0,03	0,24±0,02	–
Коэффициент звукопоглощения	0,11–1,00 (в диапазоне частот 125–1600 Гц)*	0,35 (при 250 Гц), 0,75 (при 500 Гц), 0,87 (при 1000 Гц)**	0,05–1,0 (в диапазоне частот 125–1600 Гц)***
Сорбционная влажность (при 22 ± 5 °С, $\varphi = 98$ %) за 30 сут, %	22,2±4,2	72,6±6,4	30,0±5,3
* Толщина образца 100 мм. ** Толщина образца 90 мм. *** Толщина образца 50 мм.			

Видно, что плотность теплозвукоизоляционного материала марки ВТИ-29 составляет 9,0 кг/м³ и в среднем имеет меньшее значение по сравнению с материалами марок Microlite AA blankets (плотность 9,6 кг/м³) и АТМ-1 (плотность 9,8 кг/м³). Меньшее среднее значение плотности материала марки ВТИ-29 достигается за счет равномерного распределения связующего в его объеме (рис. 1, а), которое обеспечивает трехмерную каркасную структуру, как и в материале Microlite AA blankets (рис. 1, б). Следует отметить, что в теплозвукоизоляционном материале АТМ-1 связующее нанесено крайне неравномерно, что наблюдается на фотографии, полученной с помощью оптической микроскопии (рис. 1, в).

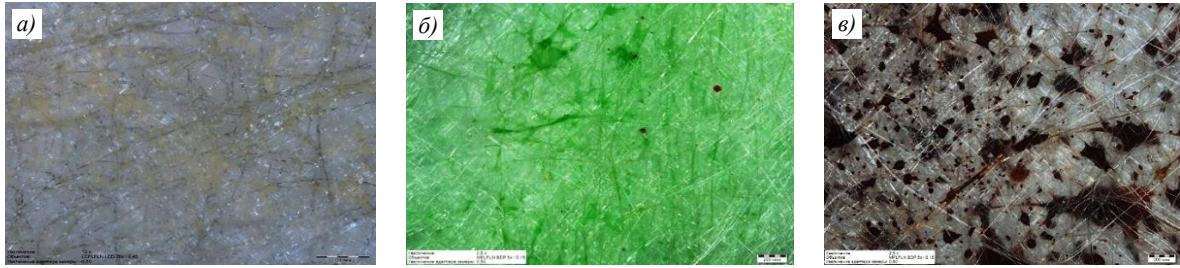


Рис. 1. Оптическая микроскопия структуры материалов ВТИ-29 (а), Microlite AA blankets (б) и АТМ-1 (в)

Уменьшению плотности материала также способствует хаотичное расположение волокон в материале ВТИ-29 (рис. 2, а), в свою очередь материал Microlite AA blankets обладает слоистой структурой, что видно на микрофотографии, полученной с помощью сканирующей электронной микроскопии (рис. 2, б).

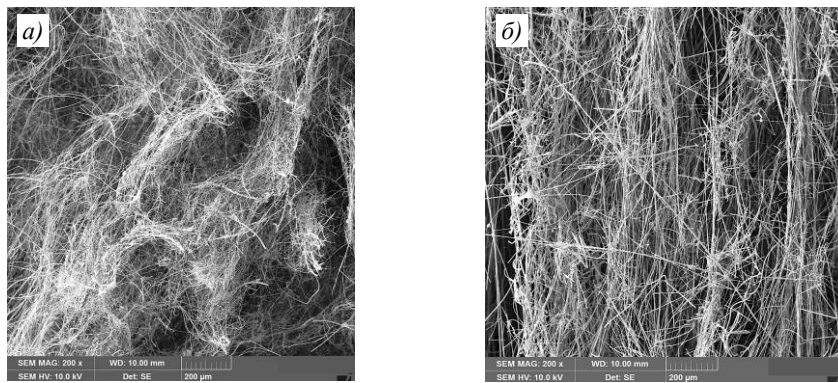


Рис. 2. Электронная микроскопия структуры материалов ВТИ-29 (а) и Microlite AA blankets (б)

Установлено, что коэффициент теплопроводности теплозвукоизоляционного материала марки ВТИ-29 составляет 0,050 Вт/(м·К) при температуре 100 °С и в пределах доверительного интервала находится на одном уровне со значениями для материалов марок Microlite AA blankets и АТМ-1, коэффициенты теплопроводности которых составляют соответственно: 0,051 Вт/(м·К) при 93 °С и 0,047 Вт/(м·К) при 100 °С.

В данной работе исследована потеря массы образцов теплозвукоизоляционных материалов марок ВТИ-29 и Microlite AA blankets с целью определения количества легколетучих компонентов, таких как формальдегид, ацетон и др. В результате исследований установлено, что потеря массы материала марки ВТИ-29 составляет 0,21 %, а для материала марки Microlite AA blankets эта характеристика равна 0,24 %, что свидетельствует об очень низкой токсичности данных теплозвукоизоляционных материалов.

С целью исследования гидрофобных свойств материалов марок ВТИ-29, Microlite AA blankets и АТМ-1 определена сорбционная влажность после выдержки образцов материалов в течение 30 сут при температуре 22±5 °С и относительной влажности воздуха $\varphi = 98 \%$. Результаты исследований показывают, что материал марки ВТИ-29 обладает наименьшей сорбционной влажностью (22,2 %) по сравнению с аналогами. Следует отметить, что теплозвукоизоляционный материал марки ВТИ-29 более чем в 3 раза превосходит по этому показателю импортный аналог.

Результаты исследований коэффициента звукопоглощения при разных толщинах теплозвукоизоляционных материалов марок ВТИ-29 и АТМ-1 (рис. 3) в диапазоне частот от 60 до 1600 Гц показывают, что с увеличением толщины теплозвукоизоляционного

материала максимум коэффициента звукопоглощения смещается в область низких частот, что является типичным для волокнистых теплозвукоизоляционных материалов [13]. Видно, что при толщине материала 25 мм коэффициент звукопоглощения материала ВТИ-29 больше, чем у материала АТМ-1. Следует также отметить, что у материала ВТИ-29 при толщине 50 мм коэффициент звукопоглощения на частотах, превышающих 800 Гц, больше, чем у материала АТМ-1. В сравнении с импортным материалом марки Microlite AA blankets толщиной 90 мм материал марки ВТИ-29 обладает большим значением коэффициента звукопоглощения на частотах 500 и 1000 Гц уже при толщине 75 мм. Коэффициенты звукопоглощения для материала марки Microlite AA blankets на частотах 500 и 1000 Гц составляют 0,75 и 0,87 соответственно, а для материала марки ВТИ-29 соответственно 0,87 и 0,96, что видно из данных рис. 3 и табл. 1. На частоте 250 Гц коэффициент звукопоглощения материала марки Microlite AA blankets при толщине 90 мм составляет 0,35, а у материала марки ВТИ-29 при толщине 100 мм равен 0,7, что позволяет сделать предположение, что на частоте 250 Гц материал ВТИ-29 обладает звукоизоляционными свойствами не хуже, чем у материала Microlite AA blankets. С учетом вышеизложенного можно сделать вывод, что материал марки ВТИ-29 превосходит по звукоизоляционным свойствам как импортный, так и отечественный аналоги.

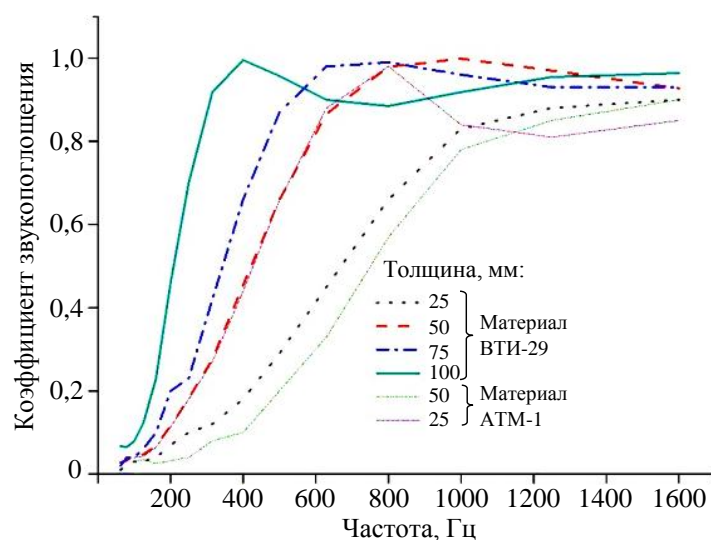


Рис. 3. Зависимость коэффициента звукопоглощения от частоты в теплозвукоизоляционных материалах марок ВТИ-29 и АТМ-1 при разных толщинах материалов

Одним из важнейших требований к авиационным теплозвукоизоляционным материалам является их пожаробезопасность [14, 15]. В табл. 2 представлены результаты испытаний на распространение пламени теплозвукоизоляционного материала марки ВТИ-29 в соответствии с АП-25, Приложение F, Часть VI.

Таблица 2

Результаты испытаний теплозвукоизоляционного материала марки ВТИ-29 на распространение пламени

Материал	Время остаточного горения, с	Длина прогорания, мм
ВТИ-29	0	15
	0	30
	0	25
Допустимые значения по АП-25, Приложение F, Часть VI	Не более 3	Не более 51

Видно, что материал марки ВТИ-29 полностью соответствует требованиям АП-25, Приложение F, Часть VI. В частности, время остаточного горения составляет 0 с, а длина прогорания не превышает 30 мм, что свидетельствует о пожаробезопасности материала марки ВТИ-29.

Заключения

Исследованы основные эксплуатационные свойства образцов теплозвукоизоляционного материала марки ВТИ-29: плотность, коэффициенты звукопоглощения и теплопроводности, потеря массы после выдержки в течение 168 ч при температуре 70 °С, сорбционная влажность после выдержки в течение 30 сут при температуре 22±5 °С и относительной влажности воздуха $\varphi = 98 \%$, время остаточного горения и длина прогорания.

В среднем плотность теплозвукоизоляционного материала ВТИ-29 (9,0 кг/м³) меньше, чем у зарубежного материала-аналога Microlite AA blankets с плотностью 9,6 кг/м³ и отечественного материала-аналога АТМ-1 с плотностью 9,8 кг/м³, что обеспечивается равномерностью нанесения связующего и хаотичным расположением волокон в объеме материала ВТИ-29.

Коэффициент теплопроводности теплозвукоизоляционного материала марки ВТИ-29 составляет 0,05 Вт/(м·К) при температуре 100 °С и находится на одном уровне со значениями аналогичного показателя для материалов марок Microlite AA blankets и АТМ-1.

Результаты исследований показывают, что материал марки ВТИ-29 обладает наименьшей сорбционной влажностью (22,2 %) по сравнению с импортным и отечественным аналогами. Кроме того, теплозвукоизоляционный материал ВТИ-29 более чем в 3 раза превосходит по этому показателю материал Microlite AA blankets.

По значению коэффициента звукопоглощения при частотах до 800 Гц материал ВТИ-29 находится приблизительно на одном уровне с материалами-аналогами Microlite AA blankets и АТМ-1, а при частотах, превышающих 800 Гц, – превосходит их.

Материал марки ВТИ-29 полностью соответствует требованиям АП-25, Приложение F, Часть VI и является пожаробезопасным.

Список источников

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. Kablov E.N., Grashchenkov D.V., Isaeva N.V., Solntsev S.S., Sevastyanov V.G. Glass and Ceramics Based High-Temperature Composite Materials for use in Aviation Technology // *Glass and Ceramics*. 2012. Vol. 69. No. 3-4. P. 109–112.
3. Каблов Е.Н., Шульдешов Е.М., Петрова А.П., Лаптева М.А., Сорокин А.Е. Зависимость комплекса свойств звукопоглощающего материала типа ВЗМК от концентрации гидрофобизирующего состава на основе кремнийорганического герметика // *Авиационные материалы и технологии*. 2020. № 2 (59). С. 41–49. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-2-41-49.
4. Баринов Д.Я., Мараховский П.С., Зуев А.В. Математическое моделирование деструкции теплозащитного материала на основе стеклопластика // *Авиационные материалы и технологии*. 2020. № 4 (61). С. 71–78. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-4-71-78.
5. Зуев А.В., Заричняк Ю.П., Баринов Д.Я., Краснов Л.Л. Исследование теплофизических свойств гибкого теплоизоляционного материала // *Авиационные материалы и технологии*. 2021. № 1 (62). Ст. 11. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 22.07.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-119-126.

6. Оснос С.П. Применение материалов на основе базальтовых волокон в авиакосмической отрасли // Композитный мир. 2015. № 4 (61). С. 72–79.
7. Бабашов В.Г., Беспалов А.С., Истомина А.В., Варрик Н.М. Теплозвукоизоляционный материал, изготовленный с использованием растительного сырья // Новые огнеупоры. 2017. № 3. С. 173–178.
8. Каблов Е.Н. Материалы для изделия «Буран» – инновационные решения формирования шестого технологического уклада // Авиационные материалы и технологии. 2013. № S1. С. 3–9.
9. Устройство для получения нетканого теплоизоляционного материала: пат. 2817837 Рос. Федерация; заявл. 20.07.23; опублик. 22.04.24.
10. Бойнович Л.Б., Домантовский А.Г., Емельяненко А.М. и др. Противообледенительные свойства супергидрофобных покрытий на алюминии и нержавеющей стали // Известия Академии наук. Сер.: Химическая. 2013. № 2. С. 383–390.
11. Kondrashov E.K., Nefedov N.I., Vereninova N.P. et al. Modification of fluorocopolymer coatings by telomers to improve their hydrophobicity // Polymer Science. Series D. 2016. Vol. 9. No. 2. P. 212–218.
12. Антипов В.В., Салимов И.Э., Беспалов А.С., Бабашов В.Г. Исследование влияния состава связующего на плотность, физико-механические и гидрофобные свойства теплозвукоизоляционного материала // Труды ВИАМ. 2024. № 9 (139). Ст. 03. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 15.11.2024.). DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-9-25-32.
13. Шашкеев К.А., Шульдешов Е.М., Попков О.В., Краев И.Д., Юрков Г.Ю. Пористые звукопоглощающие материалы (обзор) // Труды ВИАМ. 2016. № 6 (42). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 15.01.2024.). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-6-6-6.
14. Орлов А.В., Чурсова Л.В., Гребенева Т.А., Панина Н.Н. Антипирены для создания трудногорючих и пожаробезопасных полимерных композиционных материалов // Клеи. Герметики. Технологии. 2022. № 1. С. 23–30. DOI: 10.31044/1813-7008-2022-0-1-23-30.
15. Кан А.Ч., Железина Г.Ф., Кулагина Г.С., Аюпов Т.Р. Пожаробезопасность конструкционных органопластиков, армированных арамидными тканями // Авиационные материалы и технологии. 2022. № 4 (69). Ст. 05. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 23.07.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-4-51-60.

References

1. Kablov E.N. Innovative developments of FSUE «VIAM» SSC of RF on realization of «Strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030». *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2015, no. 1 (34), pp. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. Kablov E.N., Grashchenkov D.V., Isaeva N.V., Solntsev S.S., Sevastyanov V.G. Glass and Ceramics Based High-Temperature Composite Materials for use in Aviation Technology. *Glass and Ceramics*, 2012, vol. 69, no. 3–4, p. 109–112.
3. Kablov E.N., Shuldeshov E.M., Petrova A.P., Lapteva M.A., Sorokin A.E. Dependence of complex of sound-proof VZMK type material properties on concentration of hydrophobizing composition on the basis of organosilicon sealant. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2020, no. 2 (59), pp. 41–49. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-2-41-49.
4. Barinov D.Ya., Marakhovskij P.S., Zuev A.V. Mathematical modeling of destruction of fiberglass-based thermal-protection material. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2020, no. 4 (61), pp. 71–78. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-4-71-78.
5. Zuev A.V., Zarichnyak Yu.P., Barinov D.Ya., Krasnov L.L. Measurement of thermophysical properties of flexible thermal insulation. *Aviation materials and technology*, 2021, no. 1 (62), paper no. 11. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: July 22, 2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-119-126.
6. Osnos S.P. Application of materials based on basalt fibers in the aerospace industry. *Kompozitnyy mir*, 2015, no. 4 (61), pp. 72–79.

7. Babashov V.G., Bepalov A.S., Istomin A.V., Varrik N.M. Heat and sound insulating material made using plant raw materials. *Novye ognepory*, 2017, no. 3, pp. 173–178.
8. Kablov E.N. Materials for «Buran» spaceship – innovative solutions of formation of the sixth technological mode. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2013, no. S1, pp. 3–9.
9. *Device for producing non-woven thermal insulation material*: pat. 2817837 Rus. Federation; appl. 20.07.23; publ. 22.04.24.
10. Boynovich L.B., Domantovsky A.G., Emelyanenko A.M. et al. Anti-icing properties of superhydrophobic coatings on aluminum and stainless steel. *Izvestiya Akademii nauk. Ser.: Chemical*, 2013, no. 2, pp. 383–390.
11. Kondrashov E.K., Nefedov N.I., Vereninova N.P. et al. Modification of fluorocopolymer coatings by telomers to improve their hydrophobicity. *Polymer Science. Series D*, 2016, vol. 9, no. 2, pp. 212–218.
12. Antipov V.V., Salimov I.E., Bepalov A.S., Babashov V.G. Study of the influence of the composition of the binder on the density, physico-mechanical and hydrophobic properties of heat-sound insulation material. *Trudy VIAM*, 2024, no. 9 (139), paper no. 03. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: November 15, 2024.). DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-9-25-32.
13. Shashkeev K.A., Shuldeshov E.M., Popkov O.V., Kraev I.D., Yurkov G.Yu. Porous sound-absorbing materials (review). *Trudy VIAM*, 2016, no. 6, paper no. 06. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: January 15, 2024.). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-6-6-6.
14. Orlov A.V., Chursova L.V., Grebeneva T.A., Panina N.N. Flame retardants for creating flame retardant and fireproof polymer composite materials. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2022, no. 1, pp. 23–30. DOI: 10.31044/1813-7008-2022-0-1-23-30.
15. Kan A.Ch., Zhelezina G.F., Kulagina G.S., Ayupov T.R. Fire safety of structural organic plastics reinforced with aramid fabrics. *Aviation materials and technologies*, 2022, no. 4 (69), paper no. 05. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: July 23, 2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-4-51-60.

Информация об авторах

Салимов Илья Эркинович, инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Беспалов Александр Сергеевич, начальник сектора, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Бабашов Владимир Георгиевич, начальник лаборатории, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Шаркалов Александр Алексеевич, техник, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Ilya E. Salimov, Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Aleksander S. Bepalov, Head of Sector, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Vladimir G. Babashov, Head of Laboratory, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Aleksander A. Sharkalov, Technician, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 04.02.2025; одобрена и принята к публикации после рецензирования 06.02.2025.
The article was submitted 04.02.2025; approved and accepted for publication after reviewing 06.02.2025.