

Научная статья

УДК 621.186.4

DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-9-25-32

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА СВЯЗУЮЩЕГО НА ПЛОТНОСТЬ, ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ГИДРОФОБНЫЕ СВОЙСТВА ТЕПЛОЗВУКОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

В.В. Антипов¹, И.Э. Салимов¹, А.С. Беспалов¹, В.Г. Бабашов¹

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

Аннотация. Изучено влияние состава связующего компонента на физико-механические свойства гибкого волокнистого теплозвукоизоляционного материала низкой плотности. Исследованы плотность, гибкость, упругость, предел прочности при растяжении, влажность и сорбционная влажность экспериментальных образцов гибких волокнистых теплозвукоизоляционных материалов низкой плотности. Установлено, что экспериментальные образцы гибких волокнистых теплозвукоизоляционных материалов низкой плотности не уступают по уровню свойств отечественному и зарубежному аналогам.

Ключевые слова: волокнистый теплозвукоизоляционный материал, плотность, упругость, гибкость, влагопоглощение, гидрофобность

Для цитирования: 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>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-9-25-32.

Scientific article

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE COMPOSITION OF THE BINDER ON THE DENSITY, PHYSICA-MECHANICAL AND HYDROPHOBIC PROPERTIES OF HEAT-SOUND INSULATION MATERIAL

V.V. Antipov¹, I.E. Salimov¹, A.S. Bepalov¹, V.G. Babashov¹

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 influence of the composition of the binder component on the physica-mechanical properties of a flexible low-density heat-sound insulation fibrous material has been studied. The density, flexibility, elasticity, tensile strength, moisture, sorption moisture of experimental samples of flexible low-density heat-sound insulation fibrous materials has been studied. It is determined that experimental samples of flexible, low-density heat-sound insulation fibrous materials are not inferior in terms of properties to native and foreign analogues.

Keywords: fibrous heat-sound insulation material, density, elasticity, flexibility, moisture absorption, hydrophobicity

For citation: 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, physica-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>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-9-25-32.

Введение

Возрождение отечественного самолетостроения в совокупности с ужесточением требований к безопасности и уровню комфорта пассажиров, а также уменьшению удельного расхода топлива и повышению удельной тяги двигателей диктует необходимость рассмотрения новых конструкторских решений, равно как и постановки новых задач перед материаловедами. По некоторым сведениям, доля импортных материалов, используемых при создании гражданской авиационной техники, превышает 70 %. В условиях санкционного давления со стороны США и стран Евросоюза необходимо импортозамещение большей части деталей радиоэлектроники, силовых конструкций, функциональных материалов и др., в том числе теплозвукоизоляционного материала (ТЗИМ) марки Microlite AA blanket производства фирмы Jonson Marvell (США), поставки которого в РФ приостановлены. В то же время в связи с отсутствием спроса авиастроительной промышленности на отечественный аналог – материал марки АТМ-1, его производство прекращено, а оборудование уничтожено. Восстановление оборудования и технологии производства материала АТМ-1, в том числе сырьевой базы, является крайне сложной задачей, требующей больших капиталовложений и значительных человеческих ресурсов.

В связи с этим возникла необходимость в создании отечественного гибкого волокнистого теплозвукоизоляционного материала низкой плотности, не уступающего по характеристикам материалам-аналогам Microlite AA blanket и АТМ-1, и технологии его производства. Разрабатываемый материал должен обладать низкой плотностью, сохранять работоспособность в условиях циклических тепловых нагрузок и вибраций, быть пожаробезопасным.

В НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ накоплен богатый опыт разработки волокнистых ТЗИМ для летательных аппаратов [1–6]. Изначально применялись стеганные материалы на основе хлопка и оленьей шерсти – АТИМХ и АТИМО соответственно, основными недостатками которых являлись высокая горючесть и значительное дымовыделение при горении [7]. Для снижения горючести материалы обрабатывали антипиренами, что приводило к повышению гидрофильности и коррозионной активности, помимо этого, материалы обладали высокой удельной массой. Позже были разработаны материалы марок ВТ4 и ВТ4С из штапельного капронового волокна с полиамидным клеем в качестве связующего, что позволило вдвое (до 25 кг/м^3) снизить плотность материала. Следующим значимым этапом являлась разработка теплозвукоизоляционного материала АТМ-1 [8] на основе стеклянного волокна марки С и фенолформальдегидного связующего, имеющего плотность 10 кг/м^3 , предназначенного для изоляции салона и кабины пилотов всех типов пассажирских самолетов. Его важнейшим недостатком была высокая гидрофильность – поглощение влаги составляло до 50 % от собственной массы.

Для материаловеда при разработке нового ТЗИМ с улучшенным комплексом основных свойств одной из главных задач был выбор исходных компонентов. В настоящее время ассортимент стеклянных волокон, выпускаемых на территории России, весьма ограничен – в частности, боросиликатное стекло, являющееся основой материала Microlite AA blanket, серийно не выпускается, а самыми распространенными являются волокна из стекол типа Е или S. Существенное влияние на свойства ТЗИМ оказывают связующие компоненты на основе термоотверждаемых органических веществ, сохраняющие гибкость после отверждения, среди которых оптимальными являются формальдегидные смолы ввиду их низкой стоимости и больших объемов производства в России. Связующие вещества, помимо гибкости, должны обеспечивать гидрофобность материала [9–11], что осуществляется путем введения дополнительных

компонентов – гидрофобизаторов, а также пожарную безопасность: малое выделение дыма, ограниченное распространение пламени при воздействии теплового потока и склонность к самозатуханию.

Помимо высоких эксплуатационных характеристик, к функциональным материалам предъявляются также требования по так называемой технологичности. В частности, при монтаже ТЗИМ немаловажными оказываются такие характеристики, как прочность при растяжении, упругость и гибкость. В случае низкой степени гидрозапутывания волокон или низкой адгезии связующего к стекловолокну возможно расслоение и образование разрывов под действием собственной тяжести ТЗИМ, что крайне осложнит процесс его монтажа, поэтому необходимо повышать уровень предела прочности при растяжении материала. Существует два основных пути решения данной задачи – увеличение количества переплетений волокон на единицу объема материала либо повышение адгезионных свойств связующего. В первом случае повышение прочности приведет к значительному увеличению плотности, что является недопустимым, так как одним из требований авиастроителей является снижение общей массы всего изделия, в том числе за счет применения ТЗИМ. Во втором случае необходимо достичь оптимального соотношения количества связующего и значений физико-химических свойств материала, которое, с одной стороны, позволит придать необходимые прочностные характеристики материалу с сохранением минимальной плотности, а с другой – придаст гидрофобные свойства с одновременным высоким уровнем пожаробезопасных характеристик [12, 13].

Процесс монтажа ТЗИМ представляет собой заправку мата из волокнистой теплоизоляции вручную в пространство между силовыми элементами – стрингерами и шпангоутами. Низкоплотный ТЗИМ на ~95 % состоит из воздуха, заключенного в межволоконном пространстве, поэтому обладает свойством деформирования – сминаемости. Но деформация неизбежно приведет к изменению геометрических параметров ТЗИМ, увеличению плотности и, как следствие, к ухудшению шумопоглощения и увеличению коэффициента теплопроводности, что недопустимо с точки зрения требований авиастроителей. Следующий параметр высокой технологичности ТЗИМ – их упругость, т. е. способность восстанавливать исходную форму после снятия деформационных нагрузок. Данное свойство можно повысить за счет применения связующих компонентов определенной физико-химической природы.

Последним, но не менее важным показателем технологичности ТЗИМ является его гибкость – свойство материала сохранять свою целостность при огибании цилиндрической поверхности заданного радиуса [14]. Так, когда материал, который имеет некоторую толщину, сгибают, то на слоях с его внутренней стороны (которая прилегает к цилиндрической поверхности) возникают сжимающие напряжения, тогда как на слоях с внешней стороны – растягивающие. Возникновение таких напряжений может привести к разрушению материала. Для повышения гибкости материала необходимо применять связующие компоненты определенной физико-химической природы [15].

Для данной публикации проведены исследования и установлено влияние состава связующих компонентов экспериментальных образцов гибких волокнистых ТЗИМ низкой плотности на основе стекловолокна (из стекла типа Е) на их основные физико-механические характеристики для сравнения с отечественным и зарубежным аналогами. В качестве основных исходных компонентов связующего рассмотрены промышленно выпускаемые карбамидомодифицированная фенолформальдегидная и карбамидомеламиноформальдегидная смолы с добавлением полиэтилгидросилоксана или полиметилфенилсилоксана в качестве гидрофобизаторов.

Материалы и методы

Объектом исследования являлись экспериментальные образцы гибких волокнистых ТЗИМ низкой плотности, которые получены аэрационным осаждением волокна (из стекла типа Е) с послойным нанесением связующего на основе:

- 1 – карбамидомодифицированной фенолформальдегидной смолы с добавлением в качестве гидрофобизатора полиэтилгидросилоксана;
- 2 – карбамидомодифицированной фенолформальдегидной смолы с добавлением в качестве гидрофобизатора полиметилфенилсилоксана;
- 3 – карбамидомеламиноформальдегидной смолы с добавлением в качестве гидрофобизатора полиэтилгидросилоксана.

Проведены исследования экспериментальных образцов гибких волокнистых ТЗИМ низкой плотности после нанесения связующего различного состава. Исследованы плотность, гибкость, упругость, влажность, сорбционная влажность в течение 30 сут и предел прочности при растяжении в соответствии с методиками из ГОСТ 17177–94.

Результаты

Результаты исследования плотности, гибкости, упругости, влажности, сорбционной влажности в течение 30 сут и предела прочности при растяжении экспериментальных образцов гибких волокнистых ТЗИМ низкой плотности после нанесения связующего различного состава представлены в таблице.

Результаты исследования плотности, физико-механических и гидрофобных свойств образцов гибких волокнистых ТЗИМ низкой плотности и их сравнение с материалами марок Microlite AA blankets и АТМ-1

Состав связующего	Плотность, кг/м ³	Упругость, %	Гибкость (наименьший радиус изгиба), мм	Предел прочности при растяжении, кПа	Влажность, %	Сорбционная влажность, %
1	9,0±0,1	92,8±1,4	15	1,33±0,07	0,5±0,1	14,4±5,6
2	8,9±0,1	90,0±1,5	15	1,76±0,09	0,7±0,1	25,4±6,8
3	8,6±0,2	75,8±1,9	15	0,96±0,06	0,5±0,1	98,8±7,4
Microlite AA blankets	9,6±0,9	93,5±1,5	15	1,80±0,06	2,0±0,3	72,6±6,4
АТМ-1	9,8±0,2	87,7±1,9	15	–	2,0±0,3	30,0±5,3

Видно, что по среднему значению плотности все экспериментальные образцы гибких волокнистых ТЗИМ находятся на одном уровне в пределах погрешности серии измерений. Следует также отметить, что все они имеют в среднем меньшую плотность, чем их зарубежный и отечественный аналоги – материалы марок Microlite AA blankets (плотность 9,6 кг/м³) и АТМ-1 (плотность 10 кг/м³).

Установлено, что наименьший радиус изгиба образцов гибких волокнистых ТЗИМ низкой плотности составляет 15 мм для всех образцов. Полученные значения гибкости являются типичными для подобных материалов марок Microlite AA blankets и АТМ-1.

Упругость образцов гибких волокнистых ТЗИМ, полученных с применением карбамидомодифицированной фенолформальдегидной смолы в качестве основы связующего, находится приблизительно на одном уровне вне зависимости от концентрации и вида гидрофобизатора. Значения упругости данных образцов находятся в пределах погрешности серии измерений. Упругость образцов гибкого волокнистого ТЗИМ низкой плотности, содержащих в качестве основного компонента связующего

карбамидомеламиноформальдегидную смолу, составляет в среднем 75,8 %, что меньше, чем у образцов, полученных с применением карбамидомодифицированной фенолформальдегидной смолы в качестве основы связующего. Данный результат можно объяснить меньшей адгезией карбамидомеламиноформальдегидной смолы к стеклянному волокну по сравнению с карбамидомодифицированной фенолформальдегидной смолой, а также наличием мелкодисперсной упрочняющей кристаллической фазы в отвержденной карбамидомодифицированной фенолформальдегидной смоле.

По результатам исследований образцов гибких волокнистых ТЗИМ можно сделать вывод, что ТЗИМ, полученный с применением карбамидомодифицированной фенолформальдегидной смолы в качестве основы связующего, будет обладать меньшей слеживаемостью, так как его геометрические размеры, а следовательно, и плотность под воздействием собственной массы будут меняться меньше, чем у ТЗИМ, полученного с применением карбамидомеламиноформальдегидной смолы в качестве основы связующего. Поэтому гибкий волокнистый ТЗИМ, полученный с применением карбамидомодифицированной фенолформальдегидной смолы в качестве основы связующего, будет обладать более длительным сроком хранения и эксплуатации, чем материал, полученный с применением карбамидомеламиноформальдегидной смолы.

Из данных таблицы также видно, что образцы гибкого волокнистого ТЗИМ, полученные с применением связующего на основе карбамидомеламиноформальдегидной смолы, обладают наименьшей прочностью. Данный эффект (как и в предыдущем случае) можно объяснить меньшей адгезией карбамидомеламиноформальдегидной смолы к стеклянному волокну по сравнению с карбамидомодифицированной фенолформальдегидной смолой, а также наличием мелкодисперсной упрочняющей кристаллической фазы в отвержденной карбамидомодифицированной фенолформальдегидной смоле. Наибольшей прочностью обладают образцы, полученные с применением связующего на основе карбамидомодифицированной фенолформальдегидной смолы с добавлением полиметилфенилсилоксана в качестве гидрофобизатора. Полученный результат можно объяснить тем, что полиметилфенилсилоксан в данном случае является не только гидрофобизатором, но и пластификатором и модификатором ударной прочности отвержденной смолы. Образцы гибких волокнистых ТЗИМ, полученные с применением связующего на основе карбамидомодифицированной фенолформальдегидной смолы с добавлением в качестве гидрофобизатора полиэтилгидросилоксана, обладают удовлетворительной прочностью, причем прочность практически не зависит от концентрации гидрофобизатора в связующем в диапазоне 0,25÷1,00 % (по массе).

Исследования гидрофобных свойств: сорбционной влажности при выдержке в эксикаторе при температуре 22 ± 5 °С, $\phi = 98$ % в течение 30 сут и влажности при выдержке образцов материалов в атмосфере воздуха при температуре 22 ± 5 °С, показали (см. таблицу), что наименьшей влажностью обладают образцы гибкого волокнистого ТЗИМ, содержащие в составе связующего полиэтилгидросилоксан, причем уменьшение концентрации полиэтилгидросилоксана ведет к увеличению влажности материала. Образцы, содержащие в составе связующего в качестве гидрофобизатора полиметилфенилсилоксан, обладают в среднем более высоким показателем влажности, чем материалы, содержащие в составе связующего полиэтилгидросилоксан.

Наименьшим значением сорбционной влажности (14,4 %) обладают образцы гибкого волокнистого ТЗИМ с применением связующего на основе карбамидомодифицированной фенолформальдегидной смолы, содержащие в качестве гидрофобизатора полиэтилгидросилоксан. Уменьшение содержания полиэтилгидросилоксана в составе связующего в 3 раза приводит к увеличению значения сорбционной влажности до 41,5 %. Использование полиметилфенилсилоксана в качестве гидрофобизатора с той же

концентрацией также приводит к увеличению значения сорбционной влажности до 25,4 %. Следует отметить, что образцы гибкого волокнистого ТЗИМ, полученные с применением связующего на основе карбамидомеламиноформальдегидной смолы, характеризуются повышенным значением сорбционной влажности 98,8 %. Данный результат можно объяснить большим влагопоглощением карбамидомеламиноформальдегидной смолы по сравнению с карбамидомодифицированной фенолформальдегидной смолой.

Обсуждение и заключения

Исследованы плотность, физико-механические (гибкость, упругость и предел прочности при растяжении) и гидрофобные (влажность и сорбционная влажность) свойства образцов гибких волокнистых ТЗИМ низкой плотности.

Плотность всех экспериментальных образцов составила $8,6 \div 9,0$ кг/м³, что меньше, чем у зарубежного и отечественного аналогов – материалов Microlite AA blankets (плотность 9,6 кг/м³) и АТМ-1 (плотность 10 кг/м³). Наименьший радиус изгиба для всех образцов составил 15 мм.

Упругость образцов, полученных с применением карбамидомодифицированной фенолформальдегидной смолы в качестве основы связующего, находится приблизительно на одном уровне вне зависимости от концентрации и вида гидрофобизатора. Упругость образцов, полученных с применением карбамидомеламиноформальдегидной смолы, меньше, чем у образцов, полученных с применением карбамидомодифицированной фенолформальдегидной смолы, что связано с разной адгезией данных смол к стеклянному волокну и их различной структурой.

Наибольшей прочностью (значение предела прочности при растяжении ~1,8 кПа) обладают образцы, полученные с применением связующего на основе карбамидомодифицированной фенолформальдегидной смолы с добавлением полиметилфенилсилоксана в качестве гидрофобизатора. Наименьшей прочностью (значение предела прочности при растяжении <1,0 кПа) обладают образцы, полученные с применением связующего на основе карбамидомеламиноформальдегидной смолы. Образцы, полученные с применением связующего на основе карбамидомодифицированной фенолформальдегидной смолы с добавлением в качестве гидрофобизатора полиэтилгидросилоксана, обладают удовлетворительной прочностью, причем прочность практически не зависит от концентрации гидрофобизатора в связующем в диапазоне 0,25÷1,00 % (по массе) (значения предела прочности при растяжении составляют 1,33 кПа).

Показано также, что наилучшими гидрофобными свойствами обладают образцы, полученные с применением связующего на основе карбамидомодифицированной фенолформальдегидной смолы с добавлением в качестве гидрофобизатора полиэтилгидросилоксана. Значение влажности у данных образцов составляет 0,5 %, а значение сорбционной влажности 14,4 %. Данный состав является оптимальным по уровню основных эксплуатационных свойств и технологичности.

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

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., Истомин 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. 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.
10. Kondrashov E.K., Nefedov N.I., Vereninova N.P. et al. Modification of fluorocopolymer coatings by telomers to improve their hydrophobicity // *Polymer Science. Ser.: D*. 2016. Vol. 9. No. 2. P. 212–218.
11. Нефедов Н.И., Хасков М.А., Петрова А.П., Бузник В.М. Исследование термических свойств фторпарафинов и гидрофобных покрытий на их основе // *Труды ВИАМ*. 2017. № 2 (50). Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 23.07.2024.) DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-2-11-11.
12. 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.
13. 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.
14. Истомин А.В. Технология получения гибких теплоизоляционных материалов // *Стекло и керамика*. 2023. Т. 96. № 3 (1143). С. 48–56. DOI: 10.14489/glc.2023.03.pp.048-056.
15. Салимов И.Э., Беспалов А.С., Бабашов В.Г., Максимов В.Г. Исследование влияния химического состава смол марок Фенотам Н210, Фенотам Н210М, КМФ-С, СФЖ-3024 на их физико-химические свойства // *Труды ВИАМ*. 2024. № 2 (132). Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 23.07.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-2-84-91.

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, pp. 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 fiber-glass-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. *Kompozitnyj 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. 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.: Khimicheskaya*, 2013, no. 2, pp. 383–390.
10. Kondrashov E.K., Nefedov N.I., Vereninova N.P. et al. Modification of fluorocopolymer coatings by telomers to improve their hydrophobicity. *Polymer Science. Ser.: D*, 2016, vol. 9, no. 2, pp. 212–218.
11. Nefedov N.I., Haskov M.A., Petrova A.P., Buznik V.M. Study of the thermal properties of fluorinated paraffins and hydrophobic coatings on their base. *Trudy VIAM*, 2017, no. 2 (50), paper no. 11. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: July 23, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-2-11-11.
12. 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.
13. 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.
14. Istomin A.V. Technology of obtaining flexible thermal insulation materials. *Steklo i keramika*, 2023, vol. 96, no. 3 (1143), pp. 48–56. DOI: 10.14489/glc.2023.03.pp.048-056.
15. Salimov I.E., Bepalov A.S., Babashov V.G., Maksimov V.G. Investigation of the influence of the chemical composition of Fenotam N210, Fenotam N210M, KMF-S, SFZh-3024 resins on their physico-chemical properties. *Trudy VIAM*, 2024, no. 2 (132), paper no. 09. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: July 23, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-2-84-91.

Информация об авторах

Антипов Владислав Валерьевич, заместитель генерального директора по науке, д.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

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

Information about the authors

Vladislav V. Antipov, Deputy General Director for the Science, Doctor of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

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

Alexander 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

Статья поступила в редакцию 20.08.2024; одобрена и принята к публикации после рецензирования 22.08.2024.
The article was submitted 20.08.2024; approved and accepted for publication after reviewing 22.08.2024.