

УДК 66.045.3

*А.В. Истомин<sup>1</sup>, А.С. Беспалов<sup>1</sup>, В.Г. Бабашов<sup>1</sup>*

### **ПРИДАНИЕ ПОВЫШЕННОЙ ОГНЕСТОЙКОСТИ ТЕПЛОЗВУКОИЗОЛЯЦИОННОМУ МАТЕРИАЛУ НА ОСНОВЕ СМЕСИ НЕОРГАНИЧЕСКИХ И РАСТИТЕЛЬНЫХ ВОЛОКОН**

DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-4-74-78

*Представлен способ получения легковесного теплозвукоизоляционного материала на основе волокнистой смеси оксидных и целлюлозных волокон. Предложен метод снижения горючести материала посредством термоокислительной обработки. Показано, что разработанный материал обладает пониженной сорбцией к влаге и повышенными звукопоглощающими характеристиками, что дает возможность применять материал в авиастроении в качестве теплозвукоизоляции кабины пилотов и фюзеляжа летательного аппарата.*

**Ключевые слова:** теплозвукоизоляция, огнестойкость, термообработка, котонизированное волокно, оксидные волокна.

*A.V. Istomin<sup>1</sup>, A.S. Bepalov<sup>1</sup>, V.G. Babashov<sup>1</sup>*

### **ADDING INCREASED RESISTANCE TO HEAT AND SOUND INSULATION OF MATERIAL BASED ON MIXTURE OF INORGANIC AND PLANT FIBERS**

*The article presents a method for obtaining a light heat and sound insulating material. The material consists of a fibrous mixture of oxide and cellulose fibers. A method for reducing the combustibility of a material by thermal oxidation treatment is proposed. The developed material has a reduced sorption to moisture and increased sound-absorbing characteristics. The resulting material will be used in aircraft construction, as a heat and sound insulation of a cockpit and a fuselage of the aircraft.*

**Keywords:** heat and sound insulation, fire resistance, heat treatment, cottonized fiber, oxide fibers.

---

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

---

#### **Введение**

Обеспечение комфорта и микроклимата в салонах и кабинах пилотов пассажирских самолетов в России и за рубежом достигается в значительной степени при использовании теплозвукоизоляционных волокнистых материалов – эффективных и технологичных. Разработка подобных материалов ведется в рамках реализации комплексной научной проблемы 14.3. «Многофункциональные теплозащитные и теплоизоляционные материалы» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1]. С ужесточением требований к эксплуатационным характеристикам авиационной техники возникает ряд трудностей, связанных с разогревом элементов конструкции и электроники от камеры сгорания двигателя или вследствие трения о воздух при движении на больших скоростях. Для снижения тепловой нагрузки при производстве современной летательной техники широко применяют теплозащитные и теплозвукоизоля-

ционные материалы [1–4], которые можно разделить на жесткие и гибкие [5].

В данной работе будет представлен гибкий легковесный материал, представляющий собой смесь целлюлозных и оксидных волокон. Использование целлюлозного волокна, наряду с повышением ряда характеристик материала (упругость, гибкость), вызывает существенные недостатки, такие как повышенное дымовыделение и возможность возгорания при высокоэнтальпийных воздействиях.

При изготовлении материалов, используемых при производстве самолетов, особое внимание уделяется их устойчивости к воспламенению и выделению токсичных продуктов горения. Все использованные материалы должны отвечать требованиям авиационных правил по пожарной безопасности (главы АП-25 распространяются на самолеты малой и транспортной категорий) [6, 7].

Для решения поставленной задачи необходимо подробнее остановиться на рассмотрении

существующих приемов снижения горючести, дымообразования и токсичности продуктов горения и пиролиза волокнообразующих полимеров.

Проблема создания огнестойких волокнистых материалов может решаться двумя путями:

- получение новых типов химических волокон, не поддерживающих горения на воздухе, в частности термостойких волокон;
- придание огнезащитных свойств известным промышленно выпускаемым типам природных и химических волокон.

Для снижения горючести целлюлозного волокна используются следующие методы:

- 1 – пропитка растворами замедлителей горения (поверхностная обработка);
- 2 – химическое модифицирование волокон и изделий из них;
- 3 – введение замедлителей горения при формировании волокна.

Для снижения пожарной опасности используются замедлители горения различного состава неорганической и органической природы, среди которых преобладают галоген- и фосфорсодержащие соединения.

Обработка антипиренами или замедлителями горения является самым эффективным и распространенным способом огнезащиты волокон [8–12]. Использование волокон, прошедших такую обработку, позволяет исключить возможность возгорания готовых изделий от малоэнергетических источников зажигания, при этом снижается способность распространения пламени по поверхности, дымообразующая способность и токсичность продуктов разложения [9–11].

Известно, что при огнезащите целлюлозных волокон эффективно применяются фосфорсодержащие антипирены, действие которых проявляется как в снижении количества горючих соединений, так и в предохранении целлюлозного волокна обуглившимся слоем от горящего пламени [11], при этом повышается коксообразование полимера.

Вышеописанные способы не могут быть применены к исследуемой волокнистой смеси, так как введение фосфорсодержащих компонентов может привести к деградации неорганических волокон при воздействии высокой температуры. Наиболее подходящим способом придания повышенных огнезащитных свойств является метод, описанный в работах [13–17] с рядом доработок.

### Материалы и методы

В качестве основных компонентов волокнистого мата выбраны базальтовый материал марки БУТВ (ОАО «НЗСВ»), кварцевые волокна марки ТКВ (НПК «Герм») и котонизированное льняное волокно (АПК «Вологодчина»). Изготовлены образцы волокнистого материала методом аэрационного смешивания волокон в потоке сжатого воздуха (давление воздуха 4–6 ат (0,4–0,6 МПа)) с использованием в качестве связующего 1%-ной водной эмульсии поливинилацетата, нанесенной распылением в процессе осаждения волокнистого мата на сетке, с последующей сушкой при температуре 70–90°C.

С целью снижения горючести подготовленные образцы волокнистого материала были подвергнуты термообработке в воздушной среде при температурах 270–320°C с временем экспозиции 5–60 мин.

### Результаты и обсуждение

Для обеспечения необходимых механических свойств волокнистого материала с сохранением низкой плотности, использовано три вида волокон с различным их содержанием: льняное котонизированное волокно, кварцевое и базальтовое (табл. 1).

Применение льняного волокна обусловлено улучшением качества смешения оксидных волокон, так как используемое оборудование предназначено для работы с льняным волокном.

Из полученных результатов видно, что все образцы показали близкие характеристики. Более низкая плотность в сочетании с высокой термостойкостью материала состава: кварц 70%+базальт 20%+котонин 10% – может быть объяснена повышенным содержанием более прочного и термостойкого кварцевого волокна, что позволило создать наиболее разряженную структуру в процессе механического смешения волокон. В дальнейшем будет исследоваться материал состава: кварц 70%+базальт 20%+котонин 10%, так как рабочая температура будет превышать 1200°C, а базальтовое волокно не сможет обеспечить сохранность геометрических параметров при такой температуре.

Полученный легковесный мат подвергнут термоокислительной обработке для обуглероживания целлюлозной составляющей. При этом, как видно

Таблица 1

Физико-механические характеристики образцов из волокнистого материала

Состав волокнистой композиции	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Гибкость, мм	Упругость, %
Кварц 50%+котонин 50%	17,5	100	88
Кварц 20%+базальт 70%+котонин 10%	16,2	100	88
Кварц 70%+базальт 20%+котонин 10%	16,0	100	87

Таблица 2

Влияние условий термоокисления волокнистой композиции на плотность и гибкость материала

Состав волокнистой композиции	Материал в исходном состоянии		Термообработка при 300°C в течение, мин			
			5		60	
	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Гибкость, мм	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Гибкость, мм	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Гибкость, мм
Кварц 70%+базальт 20%+котонин 10%	16,0	100	15,2	100	14,0	100

из данных табл. 2, после термообработки при 300°C в течение 60 мин, вследствие максимально (по сравнению с термообработкой в течение 5 мин) удаления гетероатомов из макромолекулярной цепи целлюлозы, наблюдается значительное уменьшение объемной плотности материала (с 16,0 до 14,0 кг/м<sup>3</sup>) при сохранении высоких физико-механических характеристик, в частности гибкости (100 мм). Вид волокнистого материала представлен на рис. 1. Видно, что волокна различной природы равномерно распределены в объеме материала, лишь местами заметны флоккулы неразволокненного материала.



Рис. 1. Образец гибкого теплозащитного волокнистого материала на основе смеси неорганических волокон и волокон растительного происхождения

Термообработанный материал исследовали на пожарную безопасность в соответствии с требованиями АП-25, Приложение F, Части VI и V по горючести и дымообразованию, результаты представлены в табл. 3.

Видно, что полученный материал в разы превосходит отечественный материал марки АТМ-1 и полностью удовлетворяет требованиям Авиационных правил по пожарной безопасности.

Для оценки эксплуатационных свойств материала проведены испытания по одностороннему воздействию температуры 1200°C в течение не менее 15 мин [18]. После проведения испытаний образцы гибкого волокнистого материала сохранили свою целостность (рис. 2). Видно, что линейная усадка материала наблюдается со стороны воздействия температуры, тогда как на «холодной» стороне усадка отсутствует. Усадка наблюдается по высоте материала порядка 5–7 мм, далее, ввиду пониженных температур, в более глубоких слоях значительной деструкции керамических волокон не происходит, как и материала в целом. Перепад температур на «горячей» и «холодной» сторонах гибкого теплозвукоизоляционного волокнистого материала составляет ~880°C. Следует отметить, что во время экспозиции при одностороннем воздействии высоких температур визуально выделение дыма незначительно.

Помимо требований по горючести [19] к подобным материалам существуют требования по пониженным значениям сорбционной влажности. Ранее замечены случаи возникновения в самолетах гражданской авиации так называемого «салонного дождя», когда во время посадки конденсировавшаяся в объеме теплоизоляционного материала влага набирала критическую массу и, проходя через внутреннюю обшивку самолета, попадала в салон. Исследуемый образец волокнистого материала помещали в эксикатор над зеркалом воды, который герметично закрывали и выдерживали при относительной влажности воздуха на уровне 98% в течение 30 сут.

Таблица 3

Показатели горючести и дымообразования гибкого волокнистого материала в сравнении с отечественным аналогом

Материал	Продолжительность остаточного горения, с	Длина обугливания, мм	Показатель дымообразования
Гибкий волокнистый материал	1	12	1
АТМ-1	≤3	≤51	–
Свойства по АП-25	≤3	≤51	≤200



Рис. 2. Образцы гибкого волокнистого материала на основе смеси неорганических волокон и волокон растительного происхождения после одностороннего воздействия температуры 1200°C с «горячей» (а) и «холодной» сторон (б)

Экспозиция образцов данного волокнистого материала в течение более длительного времени (до 180 сут) показала, что среднее значение влагопоглощения практически не изменялось. Это свидетельствует о его предельном влагонасыщении, составившем <20%.

Кроме того, данный тип материалов также должен обладать повышенными звукопоглощающими характеристиками [20], что подтверждается определением коэффициента звукопоглощения в диапазоне частот от 1000 до 4000 Гц на акустическом стенде на основе многоканального анализатора типа 3560С, и пониженным значением коэффициента теплопроводности [21], определенном на измерителе теплопроводности твердых тел НФМ 436, в диапазоне температур от -60 до +110°C, что позволит применять его (материал) в качестве

теплозвукоизоляции кабины пилотов и фюзеляжа перспективных изделий гражданской авиации (в частности – широкофюзеляжного дальнемагистрального самолета CRJ929) и повысить комфорт пассажиров в полете. В табл. 4 представлены все основные характеристики материала в сравнении с применяемыми аналогами.

Гибкий теплозвукоизоляционный волокнистый материал на основе смеси неорганических волокон и волокон растительного происхождения, полученный методом аэрационного осаждения, по плотности, гибкости, коэффициентам теплопроводности и звукопоглощения находится на одном уровне с аналогами, при этом обладает пониженной (по сравнению с отечественным аналогом АТМ-1) в 4,5 раза сорбционной влажностью и горючестью. При одностороннем воздействии температуры 1200°C в течение не менее 15 мин

Таблица 4

Основные свойства гибкого теплозвукоизоляционного волокнистого материала в сравнении с аналогами

Свойства	Значения свойств для		
	гибкого теплозвукоизоляционного волокнистого материала	аналогов марок	
		АТМ-1 (Россия)	Microlite AA blanket (США)
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	14,0	10,0	9,6
Гибкость, мм	100	–	–
Сорбционная влажность (при φ=98%) за 30 сут, %	18,9	85	–
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К), при температуре, °С:	-60	0,023	–
	+20	0,038	≤0,05
	+110	0,058	–
Коэффициент звукопоглощения в диапазоне частот от 1000 до 4000 Гц	0,66÷0,91	≥0,6	–

экспериментальные образцы гибкого теплозвукоизоляционного волокнистого материала сохраняют свою целостность в отличие от отечественного и зарубежного аналогов, имеющих рабочую температуру 150 и 232°C соответственно, и максимально допустимую – порядка 350°C, что позволит в случае возникновения аварийной ситуации, в частности при воспламенении разлитого топлива, сохранить целостность внутренней обшивки фюзеляжа и эвакуировать пассажиров.

### Заключения

Получен низкоплотный (не более 15 кг/м<sup>3</sup>) волокнистый теплозвукоизоляционный материал на основе целлюлозных и оксидных волокон методом аэродинамического смешения.

Предложен безреагентный способ снижения горючести волокнистого материала, что позволило ему соответствовать требованиям авиационных правил по пожарной безопасности АП-25, Приложение F, Части VI и V.

### ЛИТЕРАТУРА

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. Каблов Е.Н. России нужны материалы нового поколения // *Редкие земли*. 2014. №3. С. 8–13.
3. Каблов Е.Н., Гращенков Д.В., Исаева Н.В., Солнцев С.С., Севастьянов В.Г. Высокотемпературные конструкционные композиционные материалы на основе стекла и керамики для перспективных изделий авиационной техники // *Стекло и керамика*. 2012. №4. С. 7–11.
4. Бузник В.М., Каблов Е.Н., Кошурина А.А. Материалы для сложных технических устройств арктического применения // *Научно-технические проблемы освоения Арктики*. М.: Наука, 2015. С. 275–285.
5. Ивахненко Ю.А., Бабашов В.Г., Зимичев А.М., Тинякова Е.В. Высокотемпературные теплоизоляционные и теплозащитные материалы на основе волокон тугоплавких соединений // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №5. С. 380–386.
6. Нормы летной годности самолетов транспортной категории: АП-25: утв. Постановлением 28-й сессии Совета по авиации и использованию воздушного пространства 11.12.2008. 3-е изд. с поправками 1–6. М.: Авиаиздат. 2009. 276 с.
7. Павловский К.А., Ямщикова Г.А., Гуляева А.Г., Улькин М.Ю. Разработка связующего, не поддерживающего горение углепластика, для изготовления толстостенных изделий из ПКМ методом прессового формования // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2016. №4. Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 09.02.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-4-8-8.
8. Берлин А.А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести // *Соровский образовательный журнал*. 1996. №4. С. 16–24.
9. Халтуринский Н.А., Попова Т.В., Берлин А.А. Горение полимеров и механизм действия антипиренов // *Успехи химии*. 1984. №2. С. 326–346.
10. Щербинина Н.А., Бычкова Е.В., Панова Л.Г. Модификация полиакрилонитрильного волокна с целью снижения горючести // *Химические волокна*. 2008. №6. С. 17–19.
11. Бычкова Е.В. Научные и технологические основы модификации с целью снижения горючести целлюлозосодержащих полимерных материалов и полиакрилонитрильных волокон: дис. ... докт. техн. наук. Саратов, 2015. 352 с.
12. Зубкова Н.С., Антонов Ю.С. Снижение горючести текстильных материалов – решение экологических и социально-экономических проблем // *Российский химический журнал*. Т. XLVI. 2002. №1. С. 96–103.
13. Истомин А.В., Дружинина Т.В. Сорбционные свойства и функциональный состав полимерной композиции из *m*-,*n*-арамидных и полиакрилонитрильных волокон, подвергнутой термоокислению // *Химические волокна*. 2012. №4. С. 28–32.
14. Истомин А.В., Дружинина Т.В., Иванова В.А. Термогравиметрические исследования нового *m*-,*n*-арамидного волокна // *Химическая технология*. 2012. №6. С. 345–354.
15. Druzhinina T.V., Istomin A.V. Sorption properties and functional profile of a thermally oxidized polymeric composite of *m*- and *p*-aramid and polyacrylonitrile fibers // *Fibre Chemistry*. 2012. Vol. 44. No. 4. P. 227–231.
16. Дружинина Т.В., Матвеев И.Д., Истомин А.В., Николаева Ю.С. Закономерности термохимических превращений фенолоформальдегидных волокон // *Химические волокна*. 2013. №6. С. 9–14.
17. Дружинина Т.В., Истомин А.В. Закономерности термохимических превращений при окислении полимерной композиции из *m*-,*n*-арамидного и полиакрилонитрильного волокон // *Химические волокна*. 2013. №3. С. 10–16.
18. Стенд для качественной оценки теплоизоляционных свойств материалов: пат. 156904 Рос. Федерация; заявл. 25.09.2014; опубл. 20.11.2015, Бюл. №32. 3 с.
19. Ивахненко Ю.А., Кузьмин В.В., Беспалов А.С. Состояние и перспективы развития теплозвукоизоляционных пожаробезопасных материалов // *Проблемы безопасности полетов*. 2014. №7. С. 27–30.
20. Шашкеев К.А., Шульдешов Е.М., Попков О.В., Краев И.Д., Юрков Г.Ю. Пористые звукопоглощающие материалы (обзор) // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2016. №6 (42). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 09.02.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-6-6-6.
21. Сытый Ю.В., Сагомонова В.А., Максимов В.Г., Бабашов В.Г. Звукотеплоизолирующий материал градиентной структуры ВТИ-22 // *Авиационные материалы и технологии*. 2013. №2 (27). С. 47–49.