

К. т. н. В. Г. Бабашов (✉), А. С. Беспалов, к. т. н. А. В. Истомин,  
Н. М. Варрик

ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, Москва, Россия

УДК 669-494.043.2

## ТЕПЛОЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ, ИЗГОТОВЛЕННЫЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Приведены результаты изучения параметров получения гибкого волокнистого материала низкой плотности на основе минеральных волокон с использованием растительного волокна. Исследовали влияние количества растительного волокна (льняного волокна — котонина) на плотность и гибкость материала, полученного методом аэрационного осаждения, а также влияние связующего на основе растительного сырья и облицовки на основные свойства гибкого теплоизоляционного материала. Описан процесс адаптации технологических параметров применительно к производству материала на оборудовании опытно-промышленного участка в филиале ФГУП «ВИАМ» в Воскресенске. На основании результатов исследований разработаны составы и технологические принципы изготовления низкоплотного теплозвукоизоляционного волокнистого материала.

**Ключевые слова:** теплозвукоизоляционный волокнистый материал, минеральное волокно, кварцевое волокно, льняное волокно, аэрационная раскладка, сульфометилцеллюлоза.

### ВВЕДЕНИЕ

Усложнение авиационной гражданской техники, все более возрастающие требования к безопасности и уровню комфорта пассажиров, снижению веса летательных аппаратов (ЛА), уменьшению удельного расхода топлива и повышению удельной тяги двигателей требуют принятия новых конструкторских решений и создания современных или опережающих современный технический уровень летательных аппаратов. Решение проблемы коммуникаций в масштабах России требует значительного парка самолетов различных типов и классов и налаженной системы производства. Большая роль в решении этих задач отводится авиационному материаловедению [1–7]. Необходимо создание новых конструкционных композиционных, легких и жаропрочных сплавов, современных функциональных материалов, обладающих прорывными свойствами и отвечающих современным требованиям, выставляемым конструкторами ЛА [4]. Особое значение имеют разработка и внедрение новых материалов в плане решения проблемы импортозамещения [1]. В современных отечественных разработках гражданской авиационной техники доля импортных материалов часто превышает 70 %, что ведет к зависимости отечественных производителей от поставок из-за рубежа.

Обеспечение надежной работы теплоизоляции в условиях циклических тепловых нагрузок

и вибраций, а также возможность противостоять экстремальным нагревам при возгорании — важная задача при создании материалов для перспективных самолетов. На протяжении многих десятилетий велись разработки волокнистых теплозвукоизоляционных материалов для конструкций планеров, первыми из которых были стеганные материалы на основе хлопка и оленьей шерсти — АТИМХ и АТИМО. Главные недостатки этих материалов — предельно низкая температура применения, горючесть и дымовыделение. Для придания негорючести требовалось пропитывать эти материалы антипиреном, что приводило к повышению гигроскопичности и коррозионной активности, тогда как плотность материалов достигала 50 кг/м<sup>3</sup>. Большим достижением была разработка теплозвукоизоляционного материала ВТ4 плотностью 55 кг/м<sup>3</sup> из штапельного капронового волокна. Позже путем его рыхления и введения полиамидного клея был получен материал ВТ4С плотностью 25 кг/м<sup>3</sup>. Однако использование органических волокон растительного и животного происхождения не позволяло без специальных пропиток получать негигроскопичный и негорючий теплозвукоизоляционный материал. Затем был разработан самый легкий теплозвукоизоляционный материал АТМ-1 плотностью 10 кг/м<sup>3</sup> для салона и кабин всех типов пассажирских самолетов. Его недостатком было большое водопоглощение. Эта проблема была решена созданием гидрофобного материала АТМ-1М, водопоглощение которого уменьшилось в 20 раз благодаря опрыскиванию стекломата гидрофоб-



В. Г. Бабашов  
E-mail: bvg1963@yandex.ru

ным связующим в процессе осаждения стекловолокна [8].

Исследование, проведенное авторами настоящей статьи, — шаг к созданию технологии изготовления отечественного теплозвукоизоляционного материала, способного заменить используемые ранее в гражданской авиации для теплозвукоизоляции салонов самолетов материалы АТМ-1 с высоким водопоглощением и АТМ-1М, выпуск которого в настоящее время прекращен. Данная работа позволит также обеспечить импортозамещение материала Microlite AA blanket на основе боросиликатного стекловолокна, производимого фирмой «Johns Manville», США ([www.jm.com](http://www.jm.com)) и обладающего наибольшей востребованностью в современной авиационной промышленности.

Работы по созданию высокотермостойких материалов, рассчитанных на длительную службу при высоких температурах, получили новый импульс развития с созданием высокотемпературных волокон на основе оксидов алюминия, кремния, циркония [9–12]. Особенно востребованы такие материалы в качестве теплоизоляции высокотемпературных промышленных установок в горячих производствах и энергетической отрасли. Самолетная теплоизоляция в обычном режиме функционирования работает в интервале от  $-50$  до  $+110$  °С. При циклических нагревах и охлаждениях особенно важно устранить чрезмерный набор влаги теплоизоляционным материалом, что приводит к существенному увеличению его массы. Кроме того, самолетная теплоизоляция должна отвечать правилам противопожарной безопасности. Пожаростойкие характеристики: малое выделение дыма, способность к загущению при воспламенении, противостояние прожогу и проникновению теплового потока — должны соответствовать современным авиационным правилам. Исследования по созданию новых материалов для изоляции салонов самолетов активно ведутся практически во всех развитых странах мира. Обзор научно-технической и патентной информации в области получения гибких теплозвукоизоляционных пожаробезопасных материалов низкой плотности выявил следующие тенденции: используемые в настоящее время материалы теплозвукоизоляционного назначения представляют собой волокнистые маты, как правило, из легковесного огнестойкого волокна, чаще всего стекловолокна, заключенные в гидробнон оболочку.

Одним из перспективных направлений получения низкоплотных волокнистых теплозвукоизоляционных материалов с высокими рабочими температурами является создание гибридных материалов, сочетающих термостойкие неорганические (кварцевые, кремнеземистые, мулитокремнеземистые, алюмооксидные) и низкоплотные органические (льняные, хлопковые)

волокна, связующие термопластичные волокна, а также огнестойкие и эндотермические наполнители. Растительные волокна — целлюлозные, льняные, хлопковые, конопляные практически негигроскопичны. Строение растительного волокна — капиллярное, т. е. волокно полое и в состоянии поглощать влагу. Это связано с движением питательных веществ в растениях. Процесс диффузии влаги в растительном волокне происходит только внутри капилляров, оставляя сухим межволоконное пространство, в то время как, например, в стеклянных или минеральных волокнах влага конденсирует между волокнами, снижая при этом теплопроводность теплоизоляции. Недостатком растительных волокон является их недостаточная стойкость к возгоранию при повышенных температурах. Из-за полой структуры растительные волокна обладают низкой плотностью и, кроме того, стоимость их невысока. Поэтому в настоящее время волокна растительного происхождения после необходимой обработки используют для получения звуко- и теплоизоляционных материалов разного назначения. Так, в патенте американской компании «Unifrax» [13] предложена многослойная огнезащитная теплоизоляция, включающая слой термостойких неорганических волокон и слой эндотермического наполнителя. Каждый из этих слоев может содержать органическое или неорганическое связующее. В качестве термостойких неорганических волокон могут быть выбраны поликристаллические волокна на основе  $Al_2O_3$ , минеральная вата, стеклянные, кварцевые волокна или их смесь. Связующее может быть органическим или неорганическим. Термоотверждаемое органическое связующее, которое сохраняет гибкость после отверждения, может быть выбрано из группы, содержащей латексы, сополимеры стирола и бутадиена, акрилонитрил, полиуретан, полиамиды, силиконы и другие смолы. Неорганическое связующее может быть использовано наряду с органическим или вместо него. Это могут быть коллоидные оксиды кремния, алюминия, циркония или их смесь. В качестве эндотермического наполнителя предложены гидратированные неорганические материалы, такие как гидраты оксида алюминия, бората цинка, сульфата кальция и др. Огнезащитная теплоизоляция может быть выполнена как жесткой, так и гибкой. Получают ее методом вакуумного формования из водных волокнистых суспензий.

Еще один прием улучшения теплоизоляционных и огнестойких характеристик материала при сохранении низкой плотности — использование в составе теплоизоляции органических материалов, способных обугливаться под воздействием температуры и служить препятствием для распространения пламени, а также терморасширяемых материалов. Примером такого материала является гибкий тепло- и огне-

стойкий материал, предложенный компанией «British Technology Group» [14]. Материал содержит органические и неорганические волокна, а также органический терморасширяемый наполнитель, что позволяет ему сохранять гибкость и термостойкость в рабочем интервале температур вплоть до 500 °С, а также выдерживать воздействие пламени и температуры до 1200 °С до 10 мин. Органические волокна, содержащиеся в таком материале, должны быть подвергнуты специальной обработке веществом, замедляющим воспламенение, для доминирования реакции карбонизации над процессом механической деградации. Разработчики материала выяснили, что при совместном обугливание органического волокна и расширяемого наполнителя в интервале от 200 до 500 °С поверхность волокна смачивается жидкими кислотными веществами разлагающегося расширяемого наполнителя. В результате создается усиленная волокнами аморфная структура с углеродными связями, способная к дальнейшему расширению. Выше 500 °С окисление угля на воздухе начинается на поверхности и распространяется внутрь со скоростью, зависящей от диффузии кислорода в структуру. При этом находящиеся в составе гибридного материала неорганические термостойкие волокна задерживают полное окисление угля в материале на срок от 2 до 10 мин до 1200 °С. Неорганические волокна образуют скелетную структуру, которая сохраняет свойства теплоизоляции даже после полной газификации всех углеродсодержащих компонентов в материале. Облицовку нетканого материала авторы предлагают выполнять из органических тканей, подвергнутых противопожарной обработке, например из хлопковой, обработанной фосфор- и азотсодержащими замедлителями горения, или сеткой Visil. Гибкий огнестойкий теплозащитный материал согласно данному изобретению может быть сконструирован в соответствии с требованиями для конкретного применения — иметь заранее заданную плотность, толщину, максимальную рабочую температуру.

В результате анализа научной литературы выяснилось, что основными тенденциями развития этого класса материалов являются уменьшение массы теплоизоляции, улучшение их тепловых и пожаробезопасных характеристик и снижение стоимости. В качестве сердцевины теплозвукоизоляции используют волокнистые или вспененные гибкие материалы, рабочая температура которых может быть различной — от 400 до 1100 °С в зависимости от условий эксплуатации. Теплоизоляция имеет влагозащитную оболочку, как правило из полимерных пленок, а также дополнительные защитные слои материалов, обеспечивающие прочность теплоизоляции и ее пожаробезопасность. Связующие, входящие в состав теплоизоляции,

должны обеспечивать ее гибкость, гидрофобность и обладать огнестойкостью.

Снижение плотности теплоизоляционной системы реализуют путем введения в состав волокнистой теплоизоляции легковесных волокон растительного происхождения. Для повышения пожаробезопасности разработаны новые виды высокотермостойких волокон, а также защитных покрытий, отвечающих современным требованиям авиационных правил. Пожаробезопасность теплоизоляционной системы повышают за счет введения в полимерную оболочку теплоизоляционной системы стойких к возгоранию слоев, таких как отражающий высокотемпературный минерал (например, вермикулит), металлическая фольга, высокотемпературная бумага на основе огнеупорных оксидных волокон. Повышения рабочей температуры теплоизоляции достигают за счет использования высокотермостойких волокон и создания гибридных тонкослойных композиций, объединяющих высокотемпературные оксидные волокна и гибкие полимерные материалы. Снижение стоимости материала достигается за счет использования недорогих исходных материалов при изготовлении волокнистых матов для теплоизоляции, а также организации крупносерийных производств.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам анализа информации, в качестве основных исходных компонентов волокнистого мата были выбраны минеральные волокна (базальтовые волокна материала марки БУТВ, кварцевые волокна марки ТКВ) и котонизированное льняное волокно, в качестве связующего компонента — сульфозфир целлюлозы, полученный переработкой льняного волокна, эмульсия поливинилацетата и полиэфирное волокно, для облицовки материала — кварцевый холст марки ХКВ и кремнеземная ткань марки КТ-Э-105. Предварительные эксперименты проведены в распылительной сушилке «Niro Atomaizer» с использованием форсунки для создания потока воздуха и на нестандартной установке по изготовлению гибкой теплоизоляции. Ряд исследований проведен на опытно-промышленном оборудовании.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Образцы теплозвукоизоляционных волокнистых материалов низкой плотности (рис. 1) были изготовлены методом аэрационного осаждения путем распыления волокон в потоке сжатого воздуха (давление воздуха 6 ат). Исследования проводили с использованием следующих связующих компонентов: поливинилацетатной эмульсии (1 %-ная водная), сульфозфира целлюлозы (2 %-ный водный раствор), полиэфирных волокон. Связующие компоненты вводили в образцы гибкого теплозвукоизоляционного методом аэраци-



**Рис. 1.** Образцы материала на основе базальтового волокна (а), котонина (б), кварцевого волокна (в) и смеси трех видов волокон (г), полученные методом аэрационного осаждения

онного осаждения на основе смеси органических (котонизированное льняное) и неорганических (базальтовое БУТВ и кварцевое ТКВ) волокон в процессе осаждения волокнистого мата и после его осаждения с помощью распылителей (для жидких компонентов). После введения связующих образцы волокнистого мата проходили термообработку: с поливинилацетатной эмульсией при 80 °С, с сульфозэфиром целлюлозы при 100 °С, с полиэфирными волокнами при 180 °С. Исследовали зависимости плотности образцов от вида

связующих компонентов. Образцы с разными видами связующего показаны на рис. 2. Плотность экспериментальных образцов теплозвукоизоляционного волокнистого материала в сравнении с аналогами приведена в табл. 1.

**ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ**

Результаты испытаний показали, что изготовленные методом аэрационного осаждения экспериментальные образцы теплозвукоизо-

**Таблица 1. Плотность экспериментальных образцов теплозвукоизоляционного волокнистого материала в сравнении с аналогами**

№ п/п	Основной материал образцов	Связующее	Способ введения связующего	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
1	Кварцевое, базальтовое, котонизированное льняное волокно	Поливинилацетатная эмульсия	В процессе осаждения волокнистого мата	11,5
2	Смесь кварцевого, базальтового и котонизированного льняного волокон	То же	После осаждения волокнистого мата	8,2
3	Смесь кварцевого, базальтового и котонизированного льняного волокон	Сульфозэфир целлюлозы	В процессе осаждения волокнистого мата	9,9
4	Смесь кварцевого, базальтового и котонизированного льняного волокон	То же	После осаждения волокнистого мата	9,5
5	Смесь кварцевого, базальтового и котонизированного льняного волокна с полиэфирным волокном	Нет	В процессе осаждения волокнистого мата	7,6
6	Отечественный аналог — волокнистый теплозвукоизоляционный материал АТМ-1	—	—	10,0
7	Зарубежный аналог — волокнистый теплозвукоизоляционный материал Microlite AA blanket	—	—	9,6



**Рис. 2.** Образцы материала, полученные с использованием поливинилацетатной эмульсии (а), раствора сульфозэфира целлюлозы (б) и полиэфирного волокна (в)

ляционных волокнистых материалов с использованием в качестве связующих компонентов поливинилацетатной эмульсии, сульфозфира целлюлозы и полиэфирных волокон, вводимых в процессе формования волокнистого мата либо после его формования, по показателю плотности находятся на уровне отечественного (АТМ-1) и зарубежного (Microlite AA blanket) аналогов. Однако образцы с полиэфирным волокном были недостаточно равномерно перемешаны в процессе осаждения волокнистого мата. Это привело к неравномерному закреплению волокнистого мата, таким образом, к разрушению материала в тех зонах, где полиэфирные волокна отсутствовали. Образцы с растворными связующими компонентами (поливинилацетатная эмульсия и сульфозфир целлюлозы), вводимыми после осаждения волокнистого мата, расслаивались, поскольку связующее не распределялось по всему объему волокнистого мата. Поэтому наиболее эффективным был признан способ введения растворного связующего в жидком виде (эмульсия или раствор) в процессе формования волокнистого мата. В дальнейших исследованиях имеет смысл применять более эффективные способы разволокнения материала.

С наиболее эффективным связующим компонентом — сульфозфиром целлюлозы были изготовлены образцы волокнистого материала на основе смеси органических (котонизированное льняное) и неорганических волокон (базальтовое марки БУТВ и кварцевое марки ТКВ). Состав образцов: кварцевое волокно марки ТКВ 50 %, котонин 50 %; кварцевое волокно марки ТКВ 20 %, базальтовое волокно марки БУТВ 70 %, котонин 10 %; кварцевое волокно марки ТКВ 70 %, базальтовое волокно марки БУТВ 20 %, котонин 10 %. Образцы изготовлены на оборудовании опытно-промышленного участка в филиале ФГУП «ВИАМ». Результаты исследований приведены в табл. 2. Установлено, что все образцы теплозвукоизоляционных волокнистых материалов различного состава, изготовленные методом аэрационного осаждения, с использованием в качестве связующего компонента сульфозфира целлюлозы, вводимого в процессе формования волокнистого мата, по плотности и гибкости находятся на уровне отечественного и зарубежного аналогов и имеют высокое значение упругости.

Применение материала планируется в гражданской авиации. Условия эксплуатации предполагают рабочую температуру от -60 до +110 °С и кратковременно до +1200 °С в случае пожара, поэтому основой разрабатываемого материала должны стать высокотемпературные кварцевые волокна марки ТКВ. Как видно из результатов исследований, образцы разного состава по физико-механическим характеристикам находятся на одном уровне, поэтому как оптимальный определен следующий состав гибкого

теплозвукоизоляционного волокнистого материала: кварцевое волокно ТКВ 70–80 %; базальтовое волокно БУТВ 10–20 %; котонизированное льняное волокно 5–10 %. Определены физико-механические характеристики (плотность, гибкость, упругость) образцов низкой плотности оптимального состава (исходный материал). Исследованы изменения физико-механических свойств материала после температурных воздействий, характерных при условиях его эксплуатации (табл. 3). Анализ показал, что экспериментальные образцы после воздействия температур в интервале от -60 до +110 °С по плотности и гибкости находятся на уровне исходного образца, а также отечественного и зарубежного аналогов и имеют высокое значение упругости, а после кратковременного воздействия температуры 1200 °С сохраняют свою целостность.

Выбрано облицовочное покрытие для гибкого теплозвукоизоляционного волокнистого материала. Покрытие должно иметь низкую поверхностную плотность, повышенную термостойкость и обеспечивать высокую технологичность волокнистому материалу (облицованный материал должен иметь высокие гибкость и технологическую прочность). Были изготовлены экспериментальные образцы гибкого теплозвукоизоляционного волокнистого материала низкой плотности, облицованные холстом и кремнеземной тканью двумя способами: с помощью 1 %-ного раствора поливинилацетатной эмульсии и способом прошивки волокнистого материала непрерывной кварцевой нитью марки КС-11-17×1×2 (линейной плотностью 68 текс).

Таблица 2. Физико-механические характеристики образцов теплозвукоизоляционного волокнистого материала в сравнении с аналогами

№ п/п	Образец, состав	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Гибкость, мм	Упругость, %
1	Кварц 50 %, котонин 50 %	12,5	100	88
2	Кварц 20 %, базальт 70 %, котонин 10 %	11,2	100	88
3	Кварц 70 %, базальт 20 %, котонин 10 %	12,0	100	87
4	АТМ-1	10,0	–	–
5	Microlite AA blanket	9,6	–	–

Таблица 3. Физико-механические характеристики образцов теплозвукоизоляционного волокнистого материала оптимального состава после воздействия температур

№ п/п	Образец	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Гибкость, мм	Упругость, %
1	Исходный	12,0	100	87
	После воздействия температуры, °С:			
2	-60	11,6	100	85
3	+110	11,8	100	97
4	+1200	19,5	300	64

Таблица 4. Плотность экспериментальных облицованных образцов теплозвукоизоляционного волокнистого материала в сравнении с аналогами

№ п/п	Вид облицовки	Способ крепления облицовки	Плотность, г/см <sup>3</sup>
1	Холст ХКВ	При помощи поливинилацетатной эмульсии	14,1
2	» »	Прошив непрерывной кварцевой нитью	14,8
3	Ткань КТ-Э-105	При помощи поливинилацетатной эмульсии	17,3
4	» »	Прошив непрерывной кварцевой нитью	17,8

В табл. 4 приведена плотность экспериментальных облицованных образцов теплозвукоизоляционного волокнистого материала.

**Библиографический список**

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» / *Е. Н. Каблов // Авиационные материалы и технологии.* — 2015. — № 1 (34). — С. 3–33.
2. **Каблов, Е. Н.** Материалы для изделия «Буран» — инновационные решения формирования шестого технологического уклада / *Е. Н. Каблов // Авиационные материалы и технологии.* — 2013. — № S2. — С. 3–10.
3. **Гращенков, Д. В.** О возможности использования кварцевого волокна в качестве связующего при получении легковесного теплозащитного материала на основе волокон Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / *Д. В. Гращенков, Б. В. Щетанов, Е. В. Тинякова, Т. М. Щеглова // Авиационные материалы и технологии.* — 2011. — № 4. — С. 8–14.
4. **Каблов, Е. Н.** России нужны материалы нового поколения / *Е. Н. Каблов // Редкие земли.* — 2014. — № 3. — С. 8–13.
5. **Каблов, Е. Н.** Волокнистые теплоизоляционные и теплозащитные материалы: свойства, области применения / *Е. Н. Каблов, Б. В. Щетанов // Сб. тезисов докладов Международной науч.-техн. конф. «Фундаментальные проблемы высокоскоростных течений», Жуковский, 21–24 сентября 2004 г.* — 2004. — С. 95, 96.
6. **Ивахненко, Ю. А.** Высокотемпературные теплоизоляционные и теплозащитные материалы на основе волокон тугоплавких соединений / *Ю. А. Ивахненко, В. Г. Бабашов, А. М. Зимичев, Е. В. Тинякова // Авиационные материалы и технологии.* — 2012. — № S. — С. 380–385.
7. **Каблов, Е. Н.** Перспективные армирующие высокотемпературные волокна для металлических и керамических композиционных материалов / *Е. Н. Каблов, Б. В. Щетанов, Ю. А. Ивахненко, Ю. А. Балинова // Труды ВИАМ : электрон. науч.-техн. журн.* — 2013. — № 2. — Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 21.03.2016).
8. Авиационные материалы : справочник. В 12 т. Т. 9. Теплозащитные, теплоизоляционные и композиционные

Результаты исследований показали, что экспериментальные образцы облицованного гибкого теплозвукоизоляционного волокнистого материала имеют большую в 1,2–1,7 раза плотность по сравнению с необлицованными образцами и при этом высокую технологичность. Было выбрано облицовочное покрытие гибкого теплозвукоизоляционного волокнистого материала кварцевым холстом марки ХКВ, так как с его помощью можно изготовить материал наименьшей плотности. Полученный материал содержит в качестве основы минеральные волокна, волокна растительного происхождения и органическое связующее, плотность материала не более 15 кг/м<sup>3</sup>.

\*\*\*

*Авторы выражают благодарность сотрудникам ФГУП «ВИАМ» А. С. Бондаренко и О. А. Назарову за помощь в проведении экспериментов.*

- материалы, высокотемпературные неметаллические покрытия. — М. : ВИАМ, 2011. — С. 31.
9. **Бабашов, В. Г.** Высокотемпературный гибкий волокнистый теплоизоляционный материал / *В. Г. Бабашов, Н. М. Варрик // Труды ВИАМ : электрон. науч.-техн. журн.* — 2015. — № 1. — Ст. 03. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 21.03.2016). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-1-3-3.
10. **Ивахненко, Ю. А.** Состояние и перспективы развития теплозвукоизоляционных пожаробезопасных материалов / *Ю. А. Ивахненко, В. В. Кузьмин, А. С. Беспалов // Проблемы безопасности полетов.* — 2014. — № 7. — С. 27–30.
11. **Зимичев, А. М.** К вопросу применения дискретных волокон из тугоплавких оксидов для формирования сердечника термостойких уплотнительных шнуров / *А. М. Зимичев, Н. М. Варрик // Труды ВИАМ : электрон. науч.-техн. журн.* — 2015. — № 2. — Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 21.03.2016). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-2-7-7.
12. **Бабашов, В. Г.** Теплоизоляционные материалы для современных летательных аппаратов / *В. Г. Бабашов, Н. М. Варрик // Новости материаловедения. Наука и техника.* — 2016. — № 3 (21). — С. 1.
13. **Пат. 2011126957 США.** Multi-layer fire protection material. — № 12/945012 ; заявл. 12.11.10 ; опубл. 02.06.11.
14. **Пат. 2279084 Великобритания.** Fire and heat resistant materials. — № 9416169.2 ; заявл. 19.03.93 ; опубл. 21.12.94.
15. **Пат. 2553870, Российская Федерация.** Способ получения волокнистого теплоизоляционного материала. — № 2014107965/02 ; заявл. 03.03.14 ; опубл. 20.06.15, Бюл. № 17. ■

Получено 25.01.17

© В. Г. Бабашов, А. С. Беспалов, А. В. Истомин, Н. М. Варрик, 2017 г.