

УДК 614.814.41:66.045.3

Ю.А. Ивахненко¹, Н.М. Варрик¹

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПОЖАРОСТОЙКОСТИ ВОЛОКНИСТЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ (обзор)

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-12-9-9

Даны обзор и анализ методов повышения пожаростойкости волокнистой теплоизоляции. Постоянно растущие требования к эксплуатационным свойствам теплоизоляционных материалов обусловлены прогрессом в таких областях промышленности, как транспортная, авиационная, энергетическая, химическая, нефтедобывающая и других, а также необходимостью обеспечения безопасности работы машин и механизмов. Для выполнения требований противопожарной безопасности новых авиационных правил разработан ряд новых теплоизоляционных систем, а также новые виды защитных покрытий, отвечающих современным требованиям авиационных правил.

Ключевые слова: теплоизоляционный, противопожарный, звукоизоляционный, огнезащитный пленочный ламинат, термостойкие волокна.

The article contains the review and analysis of methods of increasing in fire safety of fibrous thermal insulation. Permanent growing requirements to service properties of heat-insulating materials are caused by the progress in such areas of the industry, as transport, aviation, energy, chemical, oil-extracting and others, and also need of providing operation safety of machines and mechanisms. A number of new heat-insulating systems is developed for implementation of fire safety requirements of new aviation rules. New types of protective coatings meeting the modern requirements of aviation rules are developed.

Keywords: thermal insulation, fire barrier, fire blocking, acoustical insulation mat, fire barrier film laminate, heat-resistant fiber.

¹Федеральное 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

Современные летательные аппараты нуждаются в низкоплотных, химически стойких теплозащитных материалах для рабочих температур 800°C и выше. В настоящее время наиболее перспективными материалами с такими свойствами являются волокнистые теплозащитные материалы на основе стеклянных, минеральных и керамических оксидных волокон, стойкие в окислительной атмосфере [1–5]. Постоянно растущие требования к эксплуатационным свойствам используемых теплозащитных материалов обусловлены прогрессом в таких областях промышленности, как транспортная, авиационная, энергетическая, химическая, нефтедобывающая и других, а также необходимостью обеспечения безопасности работы машин и механизмов. В частности, за последние годы отмечается рост рабочих температур авиационных двигателей, что требует использования новых теплоизоляционных материалов, причем особое внимание уделяется пожаростойкости этих материалов для повышения безопасности полетов [6, 7].

Используемые в настоящее время материалы теплозвукоизоляционного назначения представляют собой волокнистые маты, как правило, из легковесного огнестойкого волокна, чаще всего стекловолокна, заключенные в гидрофобную оболочку. Требования к этому классу материалов комплексные, они включают такие характеристики,

как низкая плотность, низкая теплопроводность, высокие звукоизоляционные свойства. Материал также должен иметь определенные пожаростойкие характеристики, а именно: малое выделение дыма, способность к затуханию при воспламенении, противостояние прожогу и проникновению теплового потока и пр. Этим требованиям должны отвечать все компоненты, входящие в состав теплоизоляционной системы [6].

Гигроскопичность волокнистых теплоизоляционных материалов требует использования влагонепроницаемой оболочки для исключения чрезмерного набора влаги при перепадах температур, приводящего к недопустимому увеличению массы теплоизоляции. Ранее в качестве влагонепроницаемой оболочки использовали полимерные материалы, такие как полиэтилен, однако эти материалы не отвечают современным противопожарным требованиям. Поэтому в последние годы разработчиками предложен ряд материалов, способных заменить полимерные оболочки волокнистых теплоизоляционных матов.

Корпорация Johns Manville International (США) предложила теплоизоляцию [8], в которой между имеющимися слоями волокнистых матов или пенной изоляции дополнительно размещают высокотермостойкий материал в виде листовых слоев или покрытий, после чего полученную конструкцию заключают в оболочку и крепят к алюминиевому корпусу фюзеляжа.

Термостойкие листовые слои содержат отражающий пластинчатый минерал, такой как вермикулит, покрывающий с двух сторон тонкие листы типа бумаги из органических волокон, тонкие маты из стекловолокон или ткань. Примером такого слоя может быть бумага торговой марки Manninglas 1208, выполненная из стекловолокна, с малым количеством связующего или без него, и покрытая с двух сторон вермикулитом. В качестве наружной оболочки теплоизоляции используют полиимидную пленку.

Время прожога такого материала, определяемое по стандарту США ASTM E-119 (Испытания пожаростойкости строительных конструкций и материалов), в зависимости от конкретного материала всех составляющих компонентов, увеличивается с 2–3 до 5–10 мин благодаря наличию промежуточных слоев.

Компания E.I. du Pont de Nemours предложила теплозащитную систему [9], включающую композиционный ламинат, состоящий из полимерного влагозащитного слоя 1 толщиной от 6 до 25 мкм, неорганического пластинчатого слоя 2 толщиной от 7 до 76 мкм и термопластичной пленки 3 толщиной >25 мкм; этот композиционный ламинат покрывает внутренний мат 4 (рис. 1).

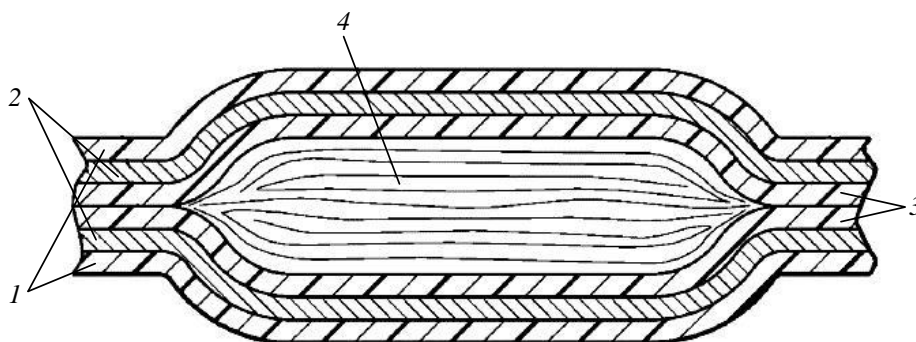


Рис. 1. Теплозащитная система (патент 8292027 US):

1 – влагозащитный слой; 2 – пластинчатый слой; 3 – термопластичная пленка; 4 – внутренний мат

Влагозащитный слой 1 препятствует проникновению влаги в волокнистый мат и обеспечивает механическую прочность и жесткость ламината. Предпочтительными материалами этого слоя являются фторполимеры или полиимиды. По желанию наружная

поверхность влагозащитного слоя, контактирующая с пластинчатым слоем, может быть покрыта политетрафторэтиленом (тефлоном) или металлизирована.

Неорганический пластинчатый слой 2 предназначен для защиты от пламени и горячих газов и может представлять собой пластинки монтмориллонита, слюды, вермикулита, талька или их комбинации. Предпочтительным является вермикулит состава: (48–46)% SiO_2 , (16–24)% MgO , (11–16)% Al_2O_3 , (8–13)% Fe_2O_3 , остальное – оксиды К, Са, Ti, Mn, Cr, Na или Ва. Пластинки могут быть нанесены на сетку из натурального или неорганического волокна (стекло, хлопок, нейлон).

Термопластичная пленка 3 должна быть способна к размягчению, достаточному, чтобы герметично соединиться при нагреве без расплавления. Это могут быть такие материалы, как поликетоны, полиимиды, полисульфоны, фторполимеры.

В качестве внутреннего мата 4 используют органический или неорганический материал, имеющий время затухания не более 10 с и длину прожога не более 102 мм, например – пенный полиимидный материал марки Insulmide от Johns Manville или волокнистый мат, содержащий стеклянные, арамидные, керамические, кварцевые, карбидокремниевые, углеродные и другие волокна.

Еще одна крупнейшая корпорация США по производству высокотермостойких керамических волокон и материалов из них Unifrax ILLC запатентовала [10] огнезащитную бумагу и противопожарный ламинат с ее использованием, предназначенный для оболочки стекломата теплоизоляционной системы.

На рис. 2 представлен поперечный разрез теплозвукоизоляционной системы, содержащей два слоя стекломатов 1, наружный противопожарный ламинат 2, противостоящий воздействию пламени, и внутреннюю пленку 3, которая также может быть слоистой.

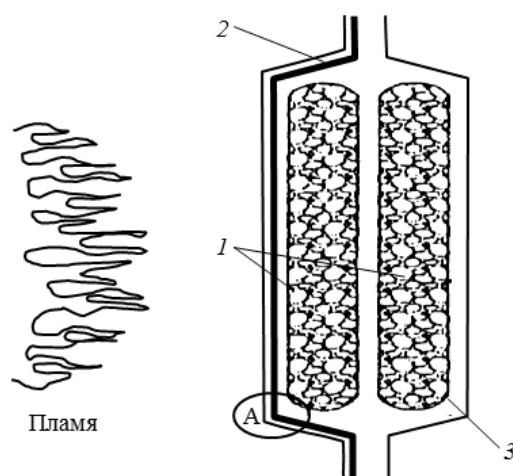


Рис. 2. Теплозвукоизоляционная система (патент 7767597 US):

1 – стекломат; 2 – ламинат; 3 – пленка

На рис. 3 представлено увеличенное изображение пленочного ламината (область А – см. рис. 2), обладающего требуемыми противопожарными свойствами. Строение противопожарного ламината: огнезащитная бумага 1 заключена между слоями пленки 2 с помощью адгезионного слоя 3. Слой упрочняющей сетки 4 может быть выполнен из стекловолокна, нейлона или полиэстера. Пленка 2 может быть выбрана из группы, содержащей полиэфир, полиимиды, полиэфиркетоны, поливинилфториды и другие.

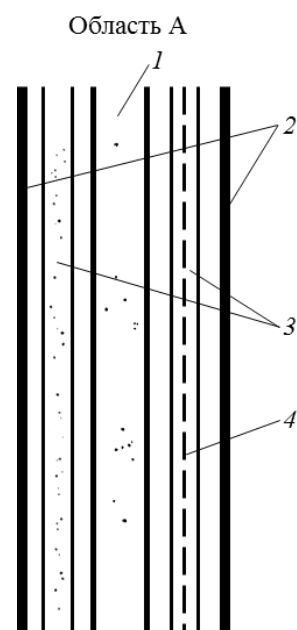


Рис. 3. Пленочный ламинат для теплозвукоизоляционной системы (патент 7767597 US):

1 – огнезащитная бумага; 2 – пленка; 3 – адгезионный слой; 4 – упрочняющая сетка

Адгезионный слой для приклеивания пленки к огнезащитной бумаге может быть на основе полиэфира или поливинилфторида с добавлением антипиреновых добавок, таких как соединения сурьмы, гидратные соединения оксида алюминия, бораты, карбонаты, фосфаты, сульфаты, органические галогениды и другие.

Огнезащитная бумага содержит щелочноземельные силикатные волокна, рубленое стекловолокно, органические упрочняющие волокна, органическое связующее и неорганический наполнитель, такой как бентонит, гекторит, каолинит и другие виды глин. Примерами щелочноземельных силикатных волокон могут быть волокна марок Isofrax и Fiberfrax, производимые компанией Unifrax ILLC (США).

Испытания показали, что такой огнезащитный ламинат удовлетворяет требованиям пожарной безопасности, обладая при этом низкой плотностью и достаточной влагонепроницаемостью.

Модульная система теплоизоляции предложена компанией Boeing [11]. Теплоизоляция включает множество модулей из волокнистых блоков 1 и двухслойного покрытия 2, имеющего наружный слой 3 и внутренний слой 4 со сварными швами 5 по периметру и между блоками (рис. 4). Наружный слой покрытия перфорирован, чтобы волокнистые блоки могли «дышать».

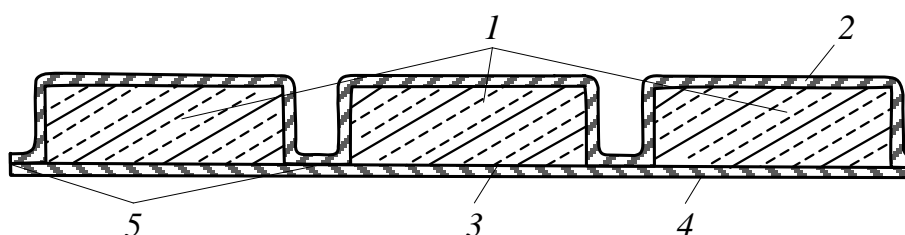


Рис. 4. Модульная теплоизоляция (патент 7083147 US):

1 – волокнистый блок; 2 – двухслойное покрытие; 3, 4 – наружный и внутренний слой двухслойного покрытия; 5 – сварной шов

Волокнистые блоки могут быть изготовлены из тканого или нетканого материала из стекловолокна, минеральной ваты или керамических волокон. Покрытие представляет собой термопластичную пленку из синтетических полимеров, таких как поливинилфторид, полиимид, полиэфир, полиуретан, полиэтилен, полипропилен и др.

Теплозвукоизоляционная система для транспортных самолетов, отвечающая требованиям FAR 25 по пожарной безопасности, предложена также американской 3M Innovative Properties Company [12] – крупнейшим производителем непрерывных высокотермостойких оксидных волокон и изделий на их основе. Изоляционная система состоит из волокнистого теплозвукоизоляционного пакета и гибкого слоистого листового материала (рис. 5), отвечающего требованиям по воспламеняемости, распространению пламени и прожогу. Теплозвукоизоляционный пакет располагают у наружной оболочки фюзеляжа между рамами каркаса самолета. Ламинированный листовый материал располагают на стороне мата, противоположной наружной обшивке фюзеляжа, так, чтобы предотвратить распространение пламени во внутреннюю часть самолета.

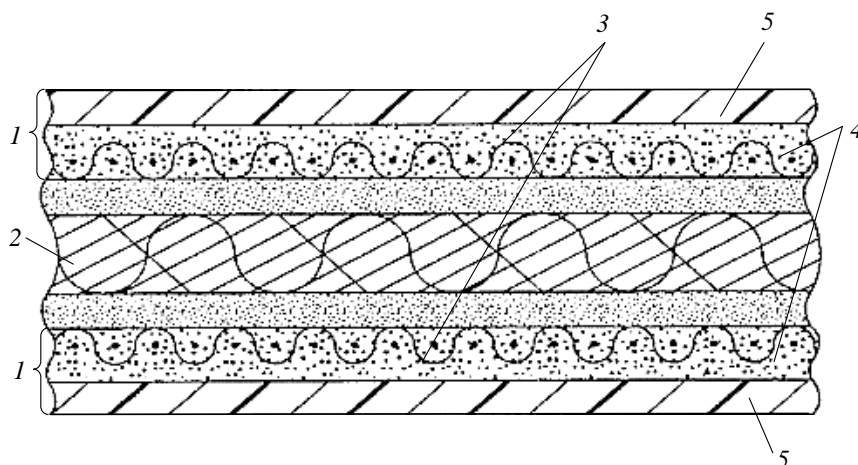


Рис. 5. Гибкий огнестойкий ламинат (патент 6670291 US):

1 – слой, упрочненный сеткой; 2 – керамический волокнистый материал; 3 – слой сетки; 4 – невоспламеняемое связующее для склеивания слоев; 5 – облицовочный слой

Гибкий ламинат содержит три слоя: два слоя 1 – упрочненные сеткой полимерные материалы со связующим, а между ними керамический волокнистый материал 2.

Слой 1 включает полимерный материал, который должен сохранять стабильность до температуры 350°C. Этот слой препятствует прохождению потоков жидкостей и газов, таких как вода, топливо, ингибиторы коррозии, гидравлические жидкости, продукты сгорания топлива и водяные пары. В качестве высокотермостабильного полимерного материала можно использовать полиамиды, поливинилфториды, силиконовые смолы, полиимиды, полиакрилсульфоны, полиэфирэфиркетоны, полиэфирамиды, полиэфиримиды, полиэфирсульфоны, полифениленсульфиды и их сочетания. Наиболее предпочтительным материалом являются полиимиды.

Слоистый материал содержит также слой сетки 3. Как правило, это упрочняющая плетеная сетка из полиэфира, нейлона или стекловолокна, повышающая стойкость к разрыву. Сетка может быть приклеена к полимерному материалу с помощью невоспламеняемого связующего 4. Промышленностью производится ряд полимерных пленок, уже имеющих приклеенный слой сетки, – например марок Insulfab 2000 и Insulfab KP121 компании Facile Holdings (США) – обе пленки полиимидные с нейлоновой сеткой. Другой пример – пленка марки Insulfab 330 той же фирмы, содержащая металлизированную поливинилфторидную пленку, нейлоновую сетку и связующее, содержащее замедлитель пламени. Третий облицовочный слой ламината 5 содержит полимерный материал из той же группы, что и материал первого слоя (тот же самый или любой другой).

Второй слой ламината 2 содержит неметаллические волокна, предпочтительно в виде ткани или нетканого материала или бумаги из высокотемпературных волокон.

Волокна не должны плавиться, гореть или разлагаться при температурах не менее 250°C, предпочтительно – до 550°C. Можно использовать стеклянные, арамидные, кристаллические керамические (включая кварцевые) волокна, а также волокна из нитрида и карбида кремния, углерода и полиакрилонитрила (ПАН). Предпочтительно использовать алюмосиликатные, алюмоборосиликатные и волокна оксида алюминия как в виде ткани, так и в виде нетканого материала из короткого волокна.

Кроме того, второй слой ламината 2 может иметь покрытие из оксида металла для упрочнения. Покрытие может покрывать всю поверхность второго слоя или ее часть, оно может быть нанесено упорядоченно или хаотично. Как правило, такое покрытие наносят принтовым методом. Нанесение сплошного покрытия может привести к потере гибкости и охрупчиванию бумаги. Компания 3М производит бумагу (рис. 6), имеющую покрытие оксидом металла зоны, под торговой маркой Nextel Flame Stopping Dot Paper – точечная огнезащитная бумага марки Nextel.

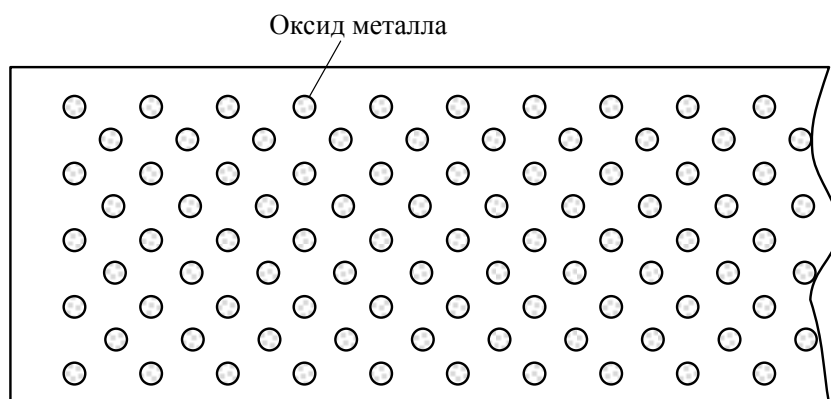


Рис. 6. Точечная огнезащитная бумага марки Nextel с зонами, покрытыми оксидом металла

Компания Owens Corning Intellectual Capital (США) предложила вариант гибкой многослойной огнестойкой изоляционной системы, включающей слой термостойкой ткани, размеростабильную мембрану, изоляционный слой и защитную оболочку, в которую заключены все слои [13].

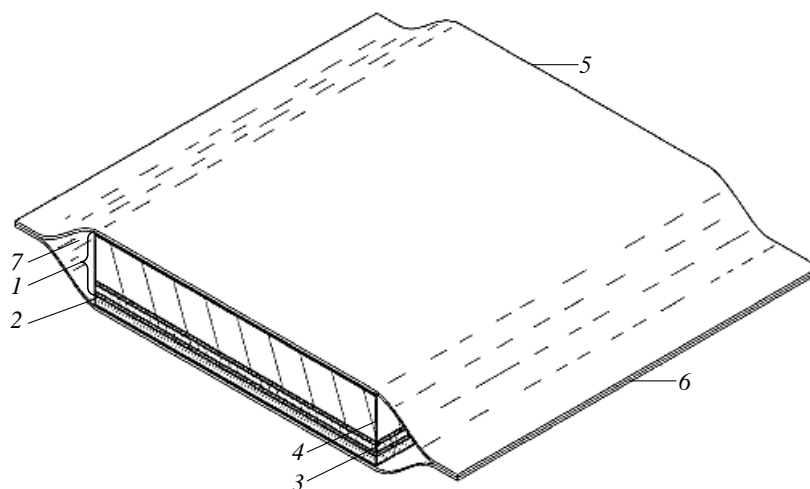


Рис. 7. Теплоизоляционная система (патент 8062985 US):

1 – теплоизоляция; 2 – слой ткани; 3 – размеростабильная мембрана; 4 – волокнистый изоляционный материал; 5 – оболочка, обеспечивающая защиту от влаги и абразивного воздействия; 6 – монтажный зажим; 7 – оболочка

Теплоизоляционная система 1 (рис. 7) включает слой ткани 2, выполненной из кварцевого стекловолокна и обработанной фосфорсодержащими соединениями для повышения огнестойкости. В обработанной таким образом ткани при воспламенении выделяется фосфорная кислота в результате термического разложения, которая мигрирует к поверхности минерального волокна, где вступает в реакцию с оксидом кремния, образуя силикофосфатную керамическую пленку на поверхности волокна. Такие волокна не прогорают на открытом пламени, поэтому ткань с этой антипиреновой обработкой отвечает современным требованиям FAR 25.

Помимо ткани теплоизоляционная система 1 включает также размеростабильную мембрану 3, выполненную из металлической фольги (например, алюминиевой) или из полимерного материала (например, полиэтилентерефталата – ПЭТ). Назначение этой мембраны – акустический барьер, придающий теплозвукоизоляционной системе требуемые акустические свойства. Кроме того, размещение слоя такого материала между стеклотканью 2 и волокнистым изоляционным материалом 4 позволяет системе меньше подвергаться провисанию и оползанию и легче переносить технологические операции – например, резку в штампе.

Теплоизоляционную систему 1 заключают в оболочку 5, которая обеспечивает защиту от влаги и абразивного воздействия. Монтажный зажим 6 позволяет регулировать оставшийся объем внутри оболочки 7.

Анализ научно-технической литературы позволяет сделать следующие выводы.

В качестве сердцевины теплозвукоизоляции используют волокнистые или вспененные гибкие материалы, рабочая температура которых может быть различной – от 400 до 1200°C (в зависимости от условий эксплуатации). Теплоизоляция имеет влагозащитную оболочку, как правило, из полимерных пленок, а также дополнительные защитные слои материалов, обеспечивающих прочность теплоизоляции и ее пожаробезопасность.

Основными направлениями разработок в области авиационных волокнистых теплоизоляционных материалов, соответствующих международным требованиям пожарной безопасности, являются волокнистые материалы для теплоизоляционных матов и огнестойкие материалы для гидрофобных наружных покрытий, препятствующих набору влаги волокнами.

Для повышения пожаробезопасности разработаны новые виды защитных покрытий, отвечающих современным требованиям авиационных правил. Пожаробезопасность теплоизоляционной системы повышают с помощью следующих операций:

- введения в полимерную оболочку теплоизоляционной системы отражающего высокотемпературного минерала (например вермикулита);
- размещения между внутренней обшивкой кабины и теплозвукоизоляционной системой дополнительного листового противопожарного ламината;
- введения в полимерную оболочку слоя высокотемпературной противопожарной бумаги на основе огнеупорных оксидных волокон;
- использования антипиреновых присадок в составе связующих и клеев.

Огнестойкие материалы для гидрофобных наружных покрытий представляют собой гибридные тонкослойные композиции, объединяющие высокотемпературные оксидные волокна и гибкие полимерные материалы.

В ВИАМ разрабатываются теплоизоляционные материалы высокотемпературного назначения [14–19]. Ряд волокнистых высокотермостойких материалов содержит тугоплавкие волокна на основе оксида алюминия и термостойкого связующего на оксидной основе. Материалы имеют низкую плотность, низкую теплопроводность, стойкость к окислению. В частности, материалы марок ВТИ-16 и ВТИ-16у, изготовленные из волокон на основе оксида алюминия, имеют двухстороннюю облицовку кремнеземной

тканью и простеганы кремнеземными нитями. Эти материалы предназначены для теплоизоляции изделий с рабочей температурой до 1600°C. Материалы марок ВТИ-17 и ВТИ-19 с рабочей температурой до 1700°C выполнены из волокон на основе оксида алюминия в виде волокнистых блоков и матов. Они предназначены для применения в качестве теплоизолирующего и уплотняющего материала в конструкциях перспективных летательных аппаратов и ракетной техники, а также для использования в качестве высокотемпературной гибкой теплоизоляции тепловых агрегатов в других отраслях промышленности [16].

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.
2. Каблов Е.Н. Материалы для изделия «Буран» – инновационные решения формирования шестого технологического уклада //Авиационные материалы и технологии. 2013. №S1. С. 3–9.
3. Гращенков Д.В., Щетанов Б.В., Тинякова Е.В., Щеглова Т.М. О возможности использования кварцевого волокна в качестве связующего при получении легковесного теплозащитного материала на основе волокон Al_2O_3 //Авиационные материалы и технологии. 2011. №4. С. 8–14.
4. 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. №S. С. 380–386.
5. Каблов Е.Н., Щетанов Б.В., Ивахненко Ю.А., Балинова Ю.А. Перспективные армирующие высокотемпературные волокна для металлических и керамических композиционных материалов //Труды ВИАМ. 2013. №2. Ст. 05 (viam-works.ru).
6. Авиационные правила АП-25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. М.: Летно-исслед. ин-т им. М.М. Громова. 1994. 321 с.
7. Варрик Н.М. Термостойкие волокна и теплозвукоизоляционные огнезащитные материалы //Труды ВИАМ. 2014. №6. Ст. 07 (viam-works.ru).
8. Burn through resistant systems for transportation, especially aircraft: pat. 6565040 US; publ. 20.05.2003.
9. Composite laminate for a thermal and acoustic insulation blanket: pat. 8292027 US; publ. 23.10.2012.
10. Fire barrier film laminate: pat. 7767597 US; publ. 03.08.2010.
11. Modularized insulation systems, apparatus and methods: pat. 7083147 US; publ. 01.08.2006.
12. Laminate sheet material for fire barrier applications: pat. 6670291 US; publ. 30.12.2003.
13. Flexible composite multiple layer fire resistant insulation structure: pat. 8062985 US; publ. 22.11.2011.
14. Балинова Ю.А., Кириенко Т.А. Непрерывные высокотемпературные оксидные волокна для теплозащитных, теплоизоляционных и композиционных материалов //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №4. С. 24–29.
15. Способ получения высокотемпературного волокна на основе оксида алюминия: пат. 2212388 Рос. Федерация; опубл. 20.09.2003. Бюл. №34. 6 с.
16. Авиационные материалы: Справочник в 12-ти томах. Т. 9. Теплозащитные, теплоизоляционные и композиционные материалы, высокотемпературные неметаллические покрытия. М.: ВИАМ. 2011. С. 31.
17. Бабашов В.Г., Варрик Н.М. Высокотемпературный гибкий волокнистый теплоизоляционный материал //Труды ВИАМ. 2015. №1. Ст. 03 (viam-works.ru).
18. Ивахненко Ю.А., Кузьмин В.В., Беспалов А.С. Состояние и перспективы развития теплозвукоизоляционных пожаробезопасных материалов //Проблемы безопасности полетов. 2014. №7. С. 27–30.
19. Зимичев А.М., Варрик Н.М. К вопросу применения дискретных волокон из тугоплавких оксидов для формирования сердечника термостойких уплотнительных шнуров //Труды ВИАМ. 2015. №2. Ст. 07 (viam-works.ru).