



УДК 662.998

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-1-4-4

**ДЕМПФИРУЮЩИЙ ФИТИЛЯЩИЙ МАТЕРИАЛ
НА ОСНОВЕ ТЕРМОСТОЙКИХ СИНТЕТИЧЕСКИХ
ВОЛОКОН**

А.С. Беспалов

В.В. Кузьмин

В.Г. Бабашов

Январь 2015

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

А.С. Беспалов¹, В.В. Кузьмин¹, В.Г. Бабашов¹

ДЕМПФИРУЮЩИЙ ФИТИЛЯЩИЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ТЕРМОСТОЙКИХ СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Большинство разработанных за последние годы теплозащитных материалов (ТЗМ) на основе высокотермостойких неорганических волокон (кварцевых, кремнеземных, на основе оксида алюминия и др.) имеют, как правило, жесткую волокнистую структуру. При креплении такого материала на изолируемую металлическую поверхность корпуса летательного аппарата возможно растрескивание материала при перепаде температур вследствие резкого различия по температурному коэффициенту линейного расширения в системе «металл–волокнистый материал».

Для решения данной проблемы можно использовать промежуточный компенсирующий слой (демпфер), способный нивелировать напряжение между ТЗМ и металлической поверхностью и предотвратить растрескивание волокнистого материала.

Ключевые слова: *волокнистая структура, термостойкость, упругий, гибкий, теплоизоляционный, термосорбирующий материал, деформационная устойчивость, демпфирующий слой.*

A.S. Bepalov, V.V. Kuzmin, V.G. Babashov

DAMPING FIBROUS MATERIAL ON BASIS OF HEAT-RESISTANT SYNTHETIC FIBERS

The majority of the heat-proofing materials developed for last years (HPM) on a basis of high-heat-resistant inorganic fibers (quartz, silica, on basis of aluminum oxide et al.) have, as a rule, a rigid fibrous structure. When fastening of such material on an isolated metal surface of an aircraft a cracking of material is probable at difference of temperatures owing to a sharp difference on thermal coefficient of linear expansion (TCLE) in the system «metal- fibrous material».

For a solution of the problem it is possible to use an intermediate compensating layer (damper), capable to level a pressure between HPM and a metal surface and to prevent a cracking of fibrous material.

Keywords: *fibrous structure, heat-resistance, elastic, flexible, heat-insulating, thermosorbing material, deformation stability, damping layer.*

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

Введение

Известна конструкция воздушно-космического летательного аппарата (ВКЛА), где на внешнюю поверхность обшивки устанавливается специальный материал «Термосорб», представляющий собой водосодержащий гель, заключенный в пластмассовый контейнер, предназначенный для уменьшения аэродинамического нагрева обшивки ВКЛА путем отвода от него тепла в процессе фазовых переходов воды, т. е. предохраняет воду от испарения при хранении, а при воздействии повышенной температуры расплавляется, обеспечивая отвод образующихся паров. Отвод образующегося водяного пара в атмосферу осуществляется посредством канала, созданного защитным барьером и открытой поверхностью материала «Термосорб». Использование дополнительного отвода тепла от силовой конструкции в процессе фазовых переходов воды в данном материале позволяет уменьшить требуемую толщину внешней тепловой защиты. Это необходимо, например, для ВКЛА с большой продолжительностью полета или использующих траекторию с высоким уровнем аэродинамического нагрева, что требует существенного увеличения толщины, а следовательно, и массы тепловой защиты и исключает возможность применения подобной конструкции на малоразмерных ВКЛА, так как требуемая толщина теплозащитных материалов (ТЗМ) становится соизмеримой, а для определенных траекторий даже больше теоретических обводов тонкопрофильных крыльев, подобных ВКЛА [1–3].

Недостатком устройства является то, что канал для отвода пара находится между внешней тепловой защитой и обшивкой ВКЛА, поэтому необходимо использовать в конструкции защитный барьер. В противном случае проникновение пара в слой внешней изоляции, представляющей обычно дисперсный материал, может привести не только к ухудшению теплофизических характеристик изоляции, но и ее разрушению при полете на больших высотах вследствие замерзания влаги [4].

Другим недостатком устройства является использование для охлаждения обшивки самого материала «Термосорб», конструктивные особенности которого ставят перед необходимостью его частой замены, что в рассматриваемом устройстве связано с демонтажем конструкции, а это существенно затрудняет возможность использования подобного устройства для охлаждения значительных по площади элементов обшивки ВКЛА [5, 6].

Таким образом, возникла проблема создания промежуточного компенсирующего слоя (демпфера), способного нивелировать напряжение между ТЗМ и металлической поверхностью и предотвратить растрескивание волокнистого материала, а также упростить конструкцию ВКЛА.

Материалы и методы

Цель может быть достигнута с помощью введения в конструкцию ВКЛА комбинированной тепловой защиты, содержащей обшивку 1; внешнюю тепловую защиту 2, выполненную из кварцевых плиток с внешним радиационным покрытием и прилегающей к ним подложки-компенсатора 5, установленной на обшивке; на внутренних поверхностях отсеков, образованных обшивкой и силовым набором, установлен капиллярно-пористый материал 4; верхняя поверхность в зоне упомянутых отсеков снабжена пароотводящими штуцерами 3, один торец которых выполнен заподлицо с поверхностью внешней тепловой защиты, а другой – с открытой поверхностью капиллярно-пористого материала (рис. 1).

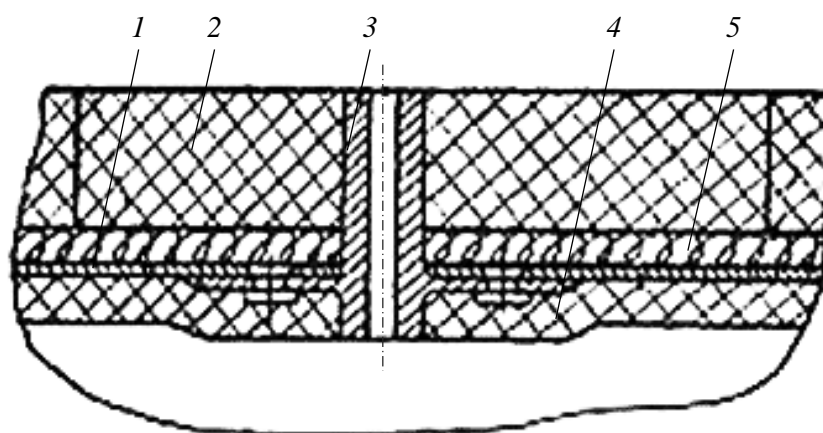


Рисунок 1. Схематичное изображение фрагмента конструкции воздушно-космического летательного аппарата:

1 – обшивка; 2 – внешняя тепловая защита; 3 – пароотводящий штуцер; 4 – капиллярно-пористый материал; 5 – подложка-компенсатор

Увлажнение капиллярно-пористого материала осуществляется дозированной подачей жидкого хладагента (дистиллированной воды) через штуцеры [7, 8].

Базовыми требованиями к подложке-компенсатору являются низкая плотность, упругость, гибкость и термостойкость. Основой для создания такого материала выбраны термостойкие синтетические волокна типа ароматических полиамидов. В табл. 1 приведены характеристики термостойких синтетических волокон различных марок [9].

Разработан иглопробивной материал марки АТМ-15 на основе таких синтетических волокон, как фенилон и терлон, свойства которого приведены в табл. 2 [10].

Таблица 1

Основные характеристики термостойких полимерных волокон

Характеристики	Значения характеристик волокон			
	фенилон	терлон	арамид	СВМ
Предел прочности при разрыве, Н/текс	–	0,8–1,0	0,45–0,5	1,5–2,0
Удлинение при разрыве, %	20–25	8–10	6–8	3–3,5
Плотность, кг/м ³	1380	1460	1410–1460	1450
Усадка в воде, %	1,5	1,0	–	3,7
Кислородный индекс, %	28–29	29–30	38	28–30
Температура разложения, °С	330–370	500	700	500

Таблица 2

Физико-механические свойства материала АТМ-15

Свойства	Значения свойств
Толщина, мм	5,3±0,2
Поверхностная плотность, г/м ²	610±15
Разрывная нагрузка, Н:	
по длине	250
по ширине	300
Влагопоглощение (φ=65%), %	6,0
Водопоглощение, %	600
Предел прочности при отрыве, МПа	0,25
Рабочий диапазон температур, °С	-130 ÷ +300

Иглопробивной материал АТМ-15 интенсивно впитывает влагу и воду. Это свойство использовано для модификации материала в принципиально противоположном направлении. Для применения в конструкциях, в которых материал работает в открытой атмосфере, он должен быть влаго-водостойким, для чего его пропитывают гидрофобным составом, в частности кремнийорганической эмульсией марки КЭ-37. Свойства гидрофобного материала, которому была присвоена марка АТМ-15ПК, приведены в табл. 3 [11, 12].

Таблица 3

Свойства материала АТМ-15ПК

Свойства	Значения свойств
Толщина, мм	4±0,1
Объемная плотность, г/см ³	0,15±0,01
Предел прочности при растяжении, МПа:	
по длине	2,2
по ширине	2,03
Предел прочности при отрыве, МПа	0,13
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К), при 20°С	0,067
Влагопоглощение (φ=65%), %	0,5
Горючесть	Трудногорающий
Температура эксплуатации, °С	-130 ÷ +300

Из данных табл. 2 и 3 видно, что влагопоглощение материала АТМ-15ПК в 10 раз ниже по сравнению с влагопоглощением материала АТМ-15. Это свойство является

чрезвычайно важным при эксплуатации ТЗМ в специфических климатических условиях – при температурах от -60 до $+60^{\circ}\text{C}$ и влажности 98%.

С другой стороны, высокое значение водопоглощения послужило основанием создания нового вида теплоизолирующего материала, способного сорбировать воду с последующим испарением с целью поглощения тепла, т. е. «активной теплоизоляции». Материал такого типа применяется для отвода тепла и поддержания комнатной температуры при работе приборов и оборудования [13].

Материал марки АТМ-15 является хорошим сорбентом, в котором вода равномерно распределяется и удерживается во всем объеме при возникающих перегрузках и свободно испаряется при повышенных температурах (фитилящий материал).

Результаты

Проведено испытание при одностороннем нагреве (рис. 2) нагревательными элементами 4 образца ТЗМ, состоящего из плитки ТЗМК 1 и нетканого иглопробивного полотна (ИПП) 2, к которому посредством фитилящего материала АТМ-15 3 подводилась вода 6, с замером температур с помощью термопар 5, установленных в трех точках по сечению испытываемого материала.

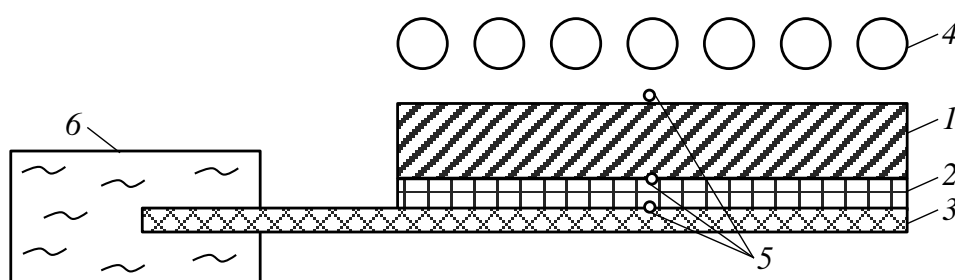


Рисунок 2. Схематическое изображение испытания при одностороннем нагреве образца теплозащитного материала:

1 – плитка ТЗМК; 2 – иглопробивное полотно; 3 – фитилящий материал АТМ-15; 4 – нагревательные элементы; 5 – термопары; 6 – емкость с водой

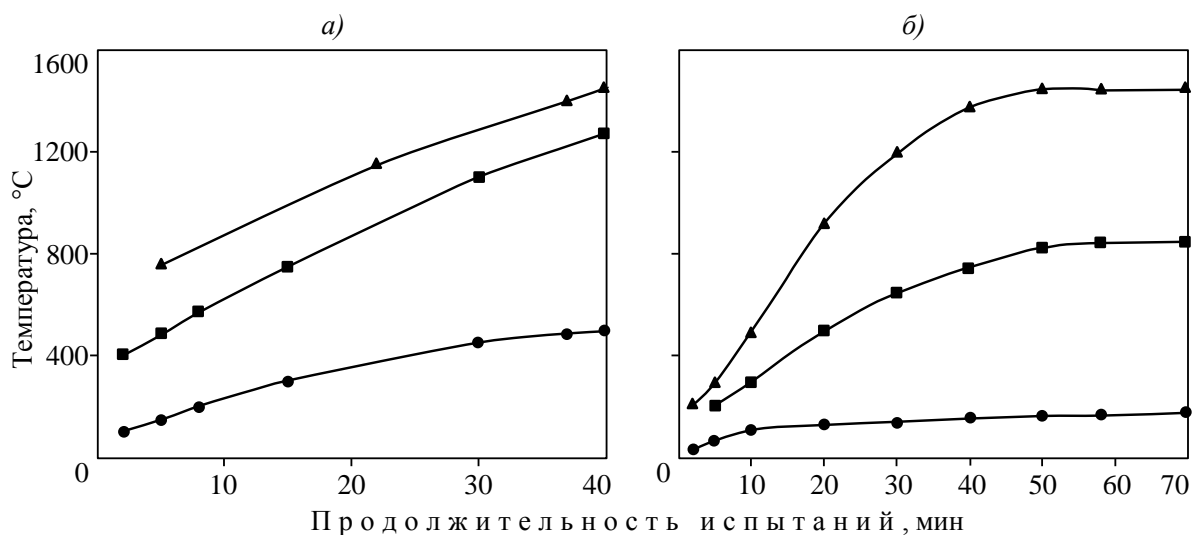


Рис. 3. Показания термопар во время испытания теплозащитного материала (ТЗМ) без фитилящего материала АТМ-15 (*а* – пассивная теплозащита) и с фитилящим материалом АТМ-15 (*б* – активная теплозащита): ▲ – температура на поверхности ТЗМ; ■ – температура между ТЗМ и иглопробивным полотном; ● – температура под ТЗМ

На рис. 3, *а* приведены показания термопар при испытании ТЗМ без использования фитилящего материала АТМ-15 (пассивная теплозащита). Для сравнения на рис. 3, *б* приведены показания термопар при испытании ТЗМ с фитилящим материалом АТМ-15, посредством которого в процессе испытания к нетканому ИПП (активная теплозащита) поступает вода.

Обсуждение и заключения

При испытании теплозащитных материалов экспериментально выявлено, что при одностороннем нагреве плитки до 1450°C при непрерывном фитилении и испарении воды в слое иглопробивного полотна температура под образцом теплозащитного материала не превышает 175°C, тогда как при отсутствии подачи воды посредством фитилящего материала температура под образцом такого материала достигала ~500°C. Таким образом, доказана эффективность применения фитилящего демпфирующего материала [14].

В последнее время разработки в данной области ведутся в основном с использованием керамических высокотермостойких волокон. Например, для теплоизоляции металлических корпусов камер сгорания газотурбинных двигателей разработан градиентный керамический волокнистый материал с рабочей температурой 1650°C, который представляет собой плитку с необходимым градиентом плотности, а также имеет жесткий керамический слой с одной стороны и мягкий упругий слой непропитанных связующим волокон с другой. Обеспечение в волокнистом материале слоя, не содержащего

золь-гель связующего, способствует повышению упругости и демпфирующих свойств материала. Кроме того, мягкий волокнистый слой легко может принимать форму изолируемой конструкции, заполняя все неровности и шероховатости, что способствует повышению тепловых свойств изделия [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кириенко Т.А., Балинова Ю.А. Физико-химические свойства многокомпонентных растворов для керамических материалов, содержащих поливиниловый спирт //Авиационные материалы и технологии. 2014. №1. С. 34–38.
2. Каблов Е.Н., Гращенков Д.В., Исаева Н.В., Солнцев С.С. Перспективные высокотемпературные керамические композиционные материалы //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 20–24.
3. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологии их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 7–17.
4. Кондрашов Э.К., Кузьмин В.В., Минаков В.Т., Пономарева Е.А. Нетканые материалы на основе термостойких полимерных волокон и межплиточные уплотнения //Труды ВИАМ. 2013. №7. Ст. 05 (viam-works.ru).
5. Щетанов Б.В., Балинова Ю.А., Люлюкина Г.Ю., Соловьева Е.П. Структура и свойства непрерывных поликристаллических волокон α -Al₂O₃ //Авиационные материалы и технологии. 2012. №1. С. 13–17.
6. Ивахненко Ю.А., Кузьмин В.В., Беспалов А.С. Состояние и перспективы развития теплозвукоизоляционных пожаробезопасных материалов //Проблемы безопасности полетов. 2014. №7. С. 27–30.
7. Солнцев С.С. Высокотемпературные композиционные материалы и покрытия на основе стекла и керамики для авиакосмической техники //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 25–33.
8. 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.
9. Щетанов Б.В. Материал плитки для внешнего высокотемпературного теплозащитного покрытия орбитального корабля «Буран» //Авиационные материалы и технологии. 2013. №S1. С. 41–50.

10. Луговой А.А., Бабашов В.Г., Карпов Ю.В. Температуропроводность градиентного теплоизоляционного материала //Труды ВИАМ. 2014 №2. Ст. 02 (viam-works.ru).
11. Каблов Е.Н., Гращенков Д.В., Исаева Н.В. и др. Высокотемпературные конструкционные композиционные материалы на основе стекла и керамики для перспективных изделий авиационной техники //Стекло и керамика. 2012. №4. С. 7–11.
12. 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).
13. Щетанов Б.В., Ивахненко Ю.А., Бабашов В.Г. Теплозащитные материалы //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 25–33.
14. Доспехи для «Бурана». Материалы и технологии ВИАМ для МКС «Энергия–Буран» /Под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: Фонд «Наука и жизнь». 2013. 128 с.

REFERENCES LIST

1. Kirienko T.A., Balinova Ju.A. Fiziko-himicheskie svojstva mnogokomponentnyh rastvorov dlja keramicheskikh materialov, sodержashhih polivinilovyy spirt [Physicochemical properties of multicomponent solutions for ceramic materials containing polyvinyl alcohol] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2014. №1. С. 34–38.
2. Kablov E.N., Grashhenkov D.V., Isaeva N.V., Solncev S.S. Perspektivnye vysokotemperaturnye keramicheskie kompozicionnye materialy [Promising high-temperature ceramic composite materials] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. Т. LIV. №1. S. 20–24.
3. Kablov E.N. Strategicheskie napravleniya razvitiya materialov i tehnologii ih pererabotki na period do 2030 goda [Strategic directions of development of materials and processing technologies for the period up to 2030] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №5. S. 7–17.
4. Kondrashov Je.K., Kuz'min V.V., Minakov V.T., Ponomareva E.A. Netkanye materialy na osnove termostojkih polimernyh volokon i mezhplitchnye uplotneniya [Nonwoven-based heat-resistant polymeric fibers and tile compaction] //Trudy VIAM. 2013. №7. St. 05 (viam-works.ru).
5. Shhetanov B.V., Balinova Ju.A., Ljuljukina G.Ju., Solov'eva E.P. Struktura i svojstva nepreryvnyh polikristallicheskih volokon α -Al₂O₃ [Structure and properties of continuous fibers of polycrystalline α -Al₂O₃] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №1. S. 13–17.

6. Ivahnenko Ju.A., Kuz'min V.V., Bepalov A.S. Sostojanie i perspektivy razvitiya teplozvukoizoljacionnyh pozharobezopasnyh materialov [Status and prospects of heat sound protection fireproof materials] //Problemy bezopasnosti poletov. 2014. №7. S. 27–30.
7. Solncev S.S. Vysokotemperaturnye kompozicionnye materialy i pokrytija na osnove stekla i keramiki dlja aviakosmicheskoy tehniki [High-temperature composite materials and coatings based on glass and ceramics for aerospace engineering] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. C. 25–33.
8. Ivahnenko Ju.A., Babashov V.G., Zimichev A.M., Tinjakova E.V. Vysokotemperaturnye teploizoljacionnye i teplozashhitnye materialy na osnove volokon tugoplavkih soedinenij [High-temperature insulating and heat-proof materials for fiber-based refractory compounds] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 380–386.
9. Shhetanov B.V. Material plitki dlja vneshnego vysokotemperaturnogo teplozashhitnogo pokrytija orbital'nogo korablja «Buran» [Material tiles for external high-temperature thermal protection orbiter «Buran»] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2013. №S1. S. 41–50.
10. Lugovoj A.A., Babashov V.G., Karpov Ju.V. Temperaturoprovodnost' gradientnogo teploizoljacionnogo materiala [The thermal diffusivity of the gradient insulating material] //Trudy VIAM. 2014 №2. St. 02 (viam-works.ru).
11. Kablov E.N., Grashhenkov D.V., Isaeva N.V. i dr. Vysokotemperaturnye konstrukcionnye kompozicionnye materialy na osnove stekla i keramiki dlja perspektivnyh izdelij aviacionnoj tehniki [High-temperature structural composite materials based on glass and ceramic products for advanced aviation technology] //Steklo i keramika. 2012. №4. S. 7–11.
12. Kablov E.N., Shhetanov B.V., Ivahnenko Ju.A., Balinova Ju.A. Perspektivnye armirujushhie vysokotemperaturnye volokna dlja metallicheskih i keramicheskikh kompozicionnyh materialov [Prospective reinforcing fibers for high temperature ceramic composites and metal materials] //Trudy VIAM. 2013. № 2. St. 05 (viam-works.ru).
13. Shhetanov B.V., Ivahnenko Ju.A., Babashov V.G. Teplozashhitnye materialy [Heat-proof materials] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 25–33.
14. Dospehi dlja «Burana». Materialy i tehnologii VIAM dlja MKS «Jenergija–Buran» [Armor for «Buran». Materials and technologies for the ISS VIAM «Energija–Buran»] /Pod obshh. red. E.N. Kablova. M.: Fond «Nauka i zhizn'». 2013. 128 s.