



УДК 677.53:66.045.3

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-6-5-5

## **НИТИ ИЗ ТУГОПЛАВКИХ ОКСИДОВ ДЛЯ УПЛОТНИ- ТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ**

А.М. Зимичев

*кандидат технических наук*

Н.М. Варрик

А.В. Сумин

**Июнь 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.

УДК 677.53:66.045.3

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-6-5-5

*А.М. Зимичев<sup>1</sup>, Н.М. Варрик<sup>1</sup>, А.В. Сумин<sup>1</sup>*

## **НИТИ ИЗ ТУГОПЛАВКИХ ОКСИДОВ ДЛЯ УПЛОТНИТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ**

*Изучено влияние замазливателей и вспомогательных нитей на возможность плетения нитей из непрерывных волокон на основе оксида алюминия на шнуроплетельном оборудовании. Проведены испытания и определены разрывная нагрузка и гибкость нитей. В результате экспериментов установлено, что использование вспомогательных нитей и замазливателя способствует повышению возможностей применения термостойких керамических нитей на основе оксидов алюминия для изготовления гибкой уплотнительной теплоизоляции.*

**Ключевые слова:** *огнеупорные оксидные волокна, термостойкие керамические нити, уплотнительная теплоизоляция.*

*A.M. Zimichev, N.M. Warrick, A.V. Sumin*

## **THREADS OF REFRACTORY OXIDES FOR SEALING THERMAL INSULATION**

*An influence of sizing agents and auxiliary threads on ability to weaving of threads from alumina continuous fibers on the braiding equipment is studied. Tests were carried out to define breaking loading and flexibility of threads. The experiments allowed to establish that the usage of auxiliary threads and sizing agent facilitates application of heat-resistant ceramic threads for production of flexible sealing thermal insulation.*

**Keywords:** *refractory oxide fibers, heat-resistant ceramic threads, flexible sealing thermal insulation.*

---

<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

При изготовлении гибких высокотемпературных уплотнительных теплоизоляционных материалов, работающих при температурах  $>1500^{\circ}\text{C}$ , таких как маты и шнуры, необходимо применять термостойкие нити на основе волокон из тугоплавких оксидов [1–5]. Волокна на основе оксидов алюминия и кремния выдерживают длительный нагрев до высоких температур, обладают достаточно высокой прочностью на разрыв, однако их природная хрупкость затрудняет операции с нитями и переработку в изделие.

В данной работе ставилась задача повышения технологической прочности термостойких нитей, обеспечивающей возможность изготовления теплоизоляционной оплетки на шнуроплетельной машине.

Одним из направлений решения этой проблемы является использование таких технологических приемов, как введение в состав керамической нити упрочняющих и вспомогательных нитей, а также пропитка нитей связующим, пластификатором или замасливателем.

Разработчики теплозащитных материалов как в России, так и за рубежом, уделяют повышенное внимание решению этой проблемы. Так, для изготовления комплексных нитей на основе непрерывных термостойких керамических волокон на основе оксида алюминия предложено использовать вспомогательные упрочняющие нити и замасливатель [6].

Комплексную нить получают путем обмотки и плетения первичных нитей. На рис. 1 представлена схема одного из вариантов изготовления комплексной нити, которая состоит из двух видов первичных нитей (стренг): из термостойких волокон на основе оксида алюминия и из упрочняющих полимерных волокон, причем каждая первичная нить имеет наружную обмотку органической нитью. Первичные нити (полимерные и термостойкие) скручивают между собой и снаружи оплетают нитями из непрерывных керамических волокон, таких как волокна на основе оксида алюминия [7] с обмоткой из вискозных нитей. После оплетки нить покрывают связующим или смазкой, например, сополимером винилацетатэтилена с политетрафторэтиленом.

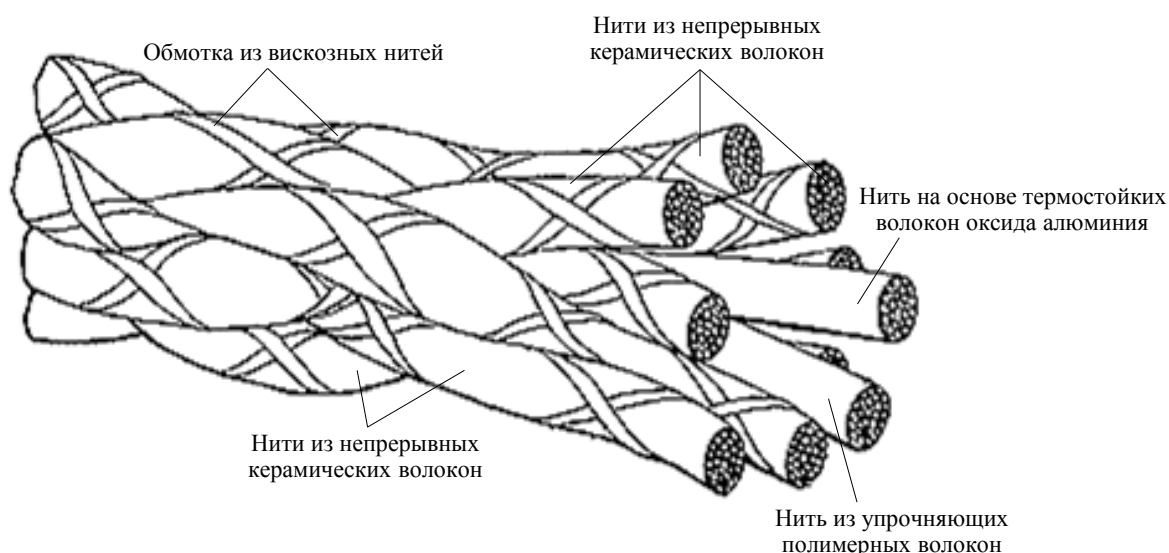


Рис. 1. Комплексная нить по патенту №4375779 (США)

В качестве органического волокна для обмотки используют крученые нити из вискозы, полиэстера, полиамида, эластомера и хлопка, лучше всего использовать крученое непрерывное или штапелированное арамидное волокно марки «Кевлар». В качестве термостойкого волокна используют непрерывное плавленное кварцевое волокно, волокно из оксидов алюминия, кремния и оксидов циркония. Предполагается, что после операции шитья изделия подвергаются нагреву при высоких температурах и органические волокна выгорают.

Еще один способ производства термостойких нитей для изготовления теплозащиты в виде тканой и плетеной продукции предполагает трощение и кручение нитей из непрерывных термостойких керамических волокон с обмоткой из вискозы [8].

Отдельные нити (рис. 2), содержащие по 390 филаментов непрерывных термостойких волокон, имеют оплетку S-типа из вискозной пряжи, содержащей 30–35 филаментов на нить, с частотой крутки 7–8 оборотов на сантиметр. Оплетенная нить затем скручена с еще одной такой же нитью с получением двойной нити, а затем четыре таких нити соединяют вместе Z-круткой с получением трощеной нити, имеющей всего 8 оплетенных нитей (см. рис. 2). Крутка Z-типа обозначает, что, если нити в ней удерживать в вертикальном состоянии, то видимая спираль в центральной части уклона напоминает букву Z, а крутка S-типа обозначает, что в том же состоянии нити видимая спираль по уклону напоминает букву S. Встречную направленность крутки используют для предотвращения скручивания готовой комплексной нити.

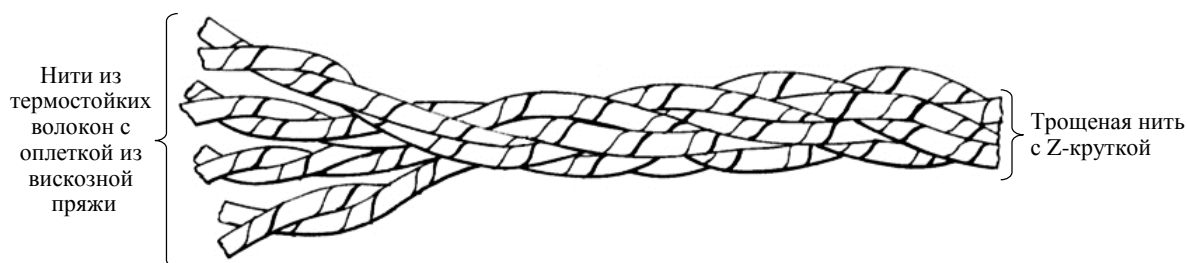


Рис. 2. Комплексная нить по патенту №4430851 (США)

После оплетки нить покрывают связующим или смазкой, например сополимером винилацетатэтилена с политетрафторэтиленом.

Получаемые подобным образом нити используют для прошивки высокотермостойких волокнистых теплоизоляционных материалов для изготовления тканей и пленочной продукции.

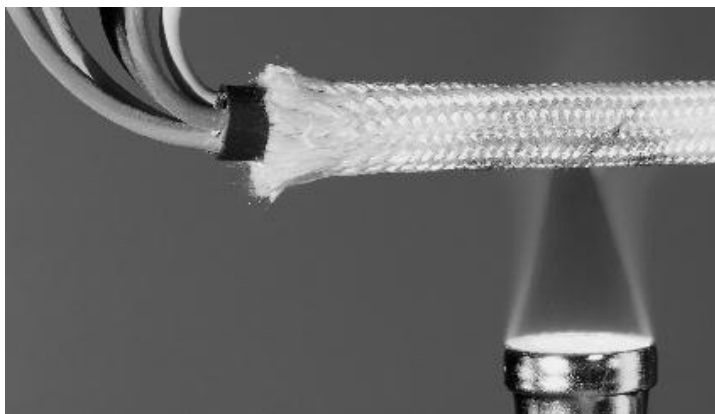


Рис. 3. Термостойкая оплетка из керамического волокна Nextel 440 от компании 3М (США)

На рис. 3 показана термостойкая оплетка, выполненная из керамических нитей на основе волокна Nextel 440 компании 3М [9]. Оплетка нити получена с использованием обычной оплеточной машины.

### **Материалы и методы**

В ВИАМ получено высокотемпературное керамическое волокно на основе оксидов алюминия и кремния, предназначенное для высокотемпературного использования [10–13]. Волокно получали золь-гель методом из волокнообразующего раствора путем экструзии через многокапиллярную фильеру с последующей термообработкой с получением многофиламентной первичной нити.

С целью защиты нити из оксидных волокон от нагрузок при движении по узлам шнуроплетельной машины проводили замасливание нити и их обмотку органическими нитями. Для оценки влияния замасливателя и вспомогательных нитей на свойства получаемой комплексной нити проводили испытания прочности и гибкости полученных образцов.

Для проведения экспериментов изготовлена установка для замасливания и обмотки первичной нити из керамических волокон. Внешний вид установки приведен на рис. 4, *а*. Установка имеет узел пропитки замасливателем и узел обмотки (рис. 4, *б*), включающий вращающуюся платформу с четырьмя катушками вспомогательной нити, воронку для подачи первичной нити и ролик для отвода первичной нити с обмоткой на

раскладчик крестовой намотки на бобину.



Рис. 4. Установка для внешней обмотки первичной термостойкой нити вспомогательными нитями (а) и узел вращающейся платформы с четырьмя катушками с вспомогательными нитями (б)

При работе установки вспомогательные органические нити с катушек вращающейся платформы обматывают первичную нить из термостойких волокон, которая затем равномерно подается на приемную бобину.

Эксперименты также показали, что обмотка нитями должна проводиться одновременно в противоположных направлениях, так как при односторонней обмотке нить закручивается и приобретает спиральную форму (рис. 5).



Рис. 5. Образец комплексной нити, изготовленный с большим натяжением вспомогательных нитей

Регулировкой натяжения вспомогательных нитей и скоростью вращения платформы уплотняли оксидные волокна и наносили внешнюю оплетку различной плотности. Опытным путем подобрали плотность внешней обмотки органической вспомогательной нитью, достаточной для защиты основной нити от распушивания и обрывов волокон при плетении на шнуроплетельной машине данной конструкции.

Полученная таким образом комплексная керамическая нить из непрерывного волокна на основе оксида алюминия, упрочненная вспомогательными нитями показана

на рис. 6.



Рис. 6. Комплексная нить из непрерывного волокна на основе оксида алюминия с внешней обмоткой органическими нитями

В качестве замасливателя опробовали состав на основе спиртоканифольного раствора и замасливателя марки АВИБ-Б, представляющего собой смесь поверхностно-активных веществ и минеральных масел.

### Результаты и обсуждение

Для оценки влияния введения замасливателя и вспомогательных нитей проводили испытания на разрывной машине «Инстрон» с определением максимальной разрывной нагрузки. Результаты испытаний влияния замасливания приведены в табл. 1 и на рис. 7–8.

Таблица 1

Значения разрывной нагрузки образцов нити при комнатной температуре	
Вид испытанных образцов нитей из непрерывных волокон	Среднее значение разрывной нагрузки, кН
На основе оксида алюминия:	
– без замасливателя	0,9
– с замасливателем	5,63
– с нитью марки «Кевлар»	88,18

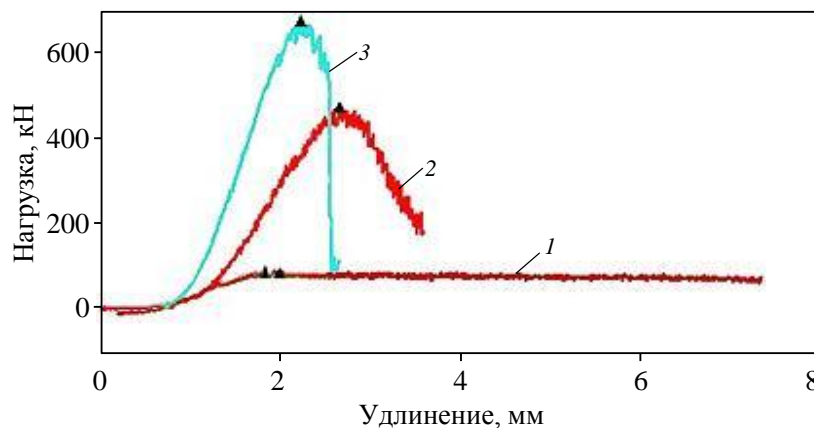


Рис. 7. Влияние замасливания на разрывную нагрузку нити из волокон на основе оксида алюминия без замасливателя (1) и с замасливателями спиртоканифольным (2) и АВИБ-Б (3)

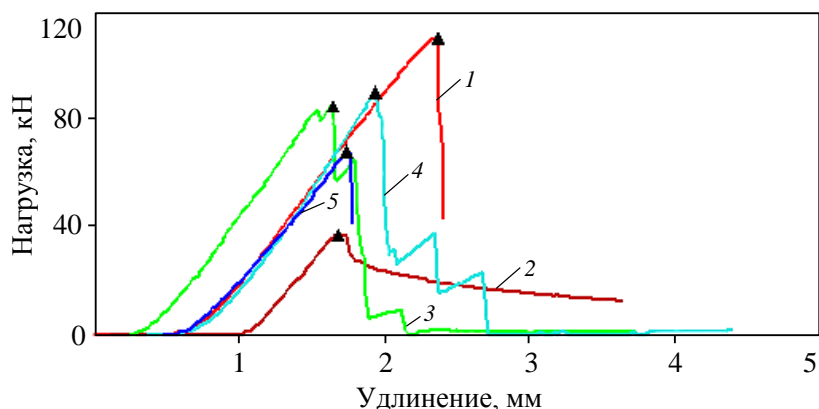


Рис. 8. Влияние вспомогательной нити на разрывную нагрузку нити из волокон на основе оксида алюминия опытных образцов 1–5

Видно, что замасливание нити повышает разрывную нагрузку в ~5 раз. Удлинение при разрыве также увеличивается при введении замасливателя, а керамические нити на основе оксида алюминия в чистом виде при разрыве практически не имеют удлинения. Однако использование спиртоканифольного замасливателя привело к потере гибкости и охрупчиванию образцов, поэтому для дальнейших испытаний его не использовали.

Испытали также образцы нитей с обмоткой полимерными вспомогательными нитями марки «Кевлар». Показано, что введение более прочных полимерных нитей повышает разрывную нагрузку комплексной нити в 7–10 раз.

Гибкость нитей оценивали по ГОСТ 17177 (п. 18). Образцы нитей обвивали вокруг поверхности стальных цилиндров диаметром от 5 до 50 мм таким образом, чтобы нить сделала полный виток. Гибкость оценивали визуально по разрывам и расслоениям на поверхности образца. От каждого образца было испытано не менее 5 отрезков. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Испытания образцов термостойких нитей на гибкость**

Условный номер образца*	Диаметр цилиндра, мм	Состояние поверхности нитей
1	50	Разрывов и расслоений не обнаружено
2	20	Наблюдается небольшое пушение нити
3	5	Нить порвалась
4	50	Разрывов и расслоений не обнаружено

5	20	То же
6	5	Наблюдается небольшое пушение нити
7	50	Разрывов и расслоений не обнаружено
8	20	То же
9	5	-«-

\* Образцы 1–3 – первичная нить без вспомогательных нитей и замасливателя; образцы 4–6 – нить из волокон на основе оксида алюминия с обмоткой из нитей марки «Кевлар»; образцы 7–9 – нить из волокон на основе оксида алюминия с замасливателем.

Испытания первичной нити из волокон на основе оксида алюминия, не имеющей замасливателя и вспомогательных нитей, показали, что при радиусе изгиба 10 мм (диаметр цилиндра 20 мм) начинается небольшое пушение нити, свидетельствующее о том, что часть волокон на основе оксида алюминия начала разрушаться. При радиусе изгиба 2,5 мм (диаметр цилиндра 5 мм) нить порвалась. Испытания на гибкость керамической нити с оплеткой из полимерной нити показали, что гибкость нитей повысилась, однако наблюдаемое легкое пушение нити при радиусе изгиба 2,5 мм (цилиндр диаметром 5 мм) свидетельствует о том, что керамические моноволокна, входящие в состав комплексной нити, начинают ломаться. Образцы нити с замасливателем не имели внешних дефектов вплоть до минимального радиуса изгиба 2,5 мм, так как гибкая оболочка из эмульсии АВИБ-Б предохраняла ломкие волокна на основе оксида алюминия от разрушения.

Изготовленные комплексные нити использованы для получения плетеного шнура на промышленном шнуроплетельном станке (рис. 9).



Рис. 9. Шнуроплетельный станок с керамическими нитями



Рис. 10. Внешний вид плетеного шнура

Опробование плетения на шнуроплетельной машине даже при самых малых скоростях с минимальным натяжением показало, что одно только замасливание не защищает нити от обрывов. Несмотря на наличие замасливателя, в нити наблюдается значительное количество обрывов волокон в местах трения нити по машине. Применение вспомогательных нитей и замасливателя при изготовлении комплексных нитей позволило провести процесс переработки тугоплавких керамических волокон в теплоизоляционный шнур. Внешний вид плетеного шнура показан на рис. 10.

### Выводы

Экспериментально показано, что использование вспомогательных нитей и замасливателя способствует повышению возможностей применения термостойких керамических нитей на основе оксидов алюминия для изготовления гибкой уплотнительной теплоизоляции. Получаемые термостойкие нити на основе тугоплавких оксидов будут использованы для изготовления уплотнительной теплоизоляции, термостойких матов, тканей и оплеток [14–16].

### ЛИТЕРАТУРА

1. 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).
2. Каблов Е.Н. Шестой технологический уклад //Наука и жизнь. 2010. №4. С. 2–7.
3. Каблов Е.Н., Щетанов Б.В., Ивахненко Ю.А. Получение, структура и прочность волокон  $Al_2O_3$  /В сб. трудов Международной конф. «Теория и практика технологий производства изделий из композиционных материалов и новых металлических сплавов». М. 2003. С. 194–196.
4. Oxide Fibers for High-Temperature Reinforcement and Insulation, Bunsell Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris //J. Miner., Metals and Mater. Sci. 2005. V. 57. №2. С. 48–51.
5. Варрик Н.М. Термостойкие волокна и теплозвукоизоляционные огнезащитные материалы //Труды ВИАМ. 2014. №6. Ст. 07 (viam-works.ru).
6. Composite sewing thread of ceramic fibers: pat. №4375779 US; publ. 08.03.1983.

7. Aluminum borate and aluminum borosilicate articles: pat. №3795524 US; publ. 05.03.1974.
8. Twisted ceramic fiber sewing thread: pat. №4430851 US; publ. 14.02.1984.
9. Раздел каталога продукции компании 3M (США) [www.3m.com](http://www.3m.com) Ceramic Textiles and Composites Nextel 440 Braided Sleeving.
10. Способ получения высокотемпературного волокна на основе оксида алюминия: пат. №2212388 Рос. Федерация; опубл. 20.09.2003.
11. Зимичев А.М., Варрик Н.М., Далин М.А. Измерение модуля упругости волокон из тугоплавких оксидов //Труды ВИАМ. 2014. №6. Ст. 05 ([viam-works.ru](http://viam-works.ru)).
12. Щеглова Т.М., Зимичев А.М., Варрик Н.М. Исследование образцов шнура из волокон Fiberfrax //Труды ВИАМ. 2014. №9. Ст. 05 ([viam-works.ru](http://viam-works.ru)).
13. Зимичев А.М., Варрик Н.М. Термогравиметрические исследования нитей на основе оксида алюминия //Труды ВИАМ. 2014. №6. Ст. 06 ([viam-works.ru](http://viam-works.ru)).
14. Щетанов Б.В., Ивахненко Ю.А., Бабашов В.Г. Теплозащитные материалы //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 12–20.
15. 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.
16. Луговой А.А., Бабашов В.Г., Карпов Ю.В. Температуропроводность градиентного теплоизоляционного материала //Труды ВИАМ. 2014. №2. Ст. 02 ([viam-works.ru](http://viam-works.ru)).

#### REFERENCES LIST

1. Kablov E.N., Shhetanov B.V., Ivahnenko Ju.A., Balinova Ju.A. Perspektivnyye armirujushhie vysokotemperaturnye volokna dlja metallicheskih i keramicheskikh kompozicionnyh materialov [Perspective reinforcing high-temperature fibers for metal and ceramic composite materials] //Trudy VIAM. 2013. №2. St. 05 ([viam-works.ru](http://viam-works.ru)).
2. Kablov E.N. Shestoj tehnologicheskij uklad [Sixth technological way] //Nauka i zhizn'. 2010. №4. S. 2–7.
3. Kablov E.N., Shhetanov B.V., Ivahnenko Ju.A. Poluchenie, struktura i prochnost' volokon  $Al_2O_3$  [Receiving, structure and durability of  $Al_2O_3$  fibers] /V sb. trudov Mezhdunarodnoj konf. «Teorija i praktika tehnologij proizvodstva izdelij iz kompozicionnyh materialov i novyh metallicheskih splavov». M. 2003. S. 194–196.
4. Oxide Fibers for High-Temperature Reinforcement and Insulation, Bunsell Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris //J. Miner., Metals and Mater. Sci. 2005. V. 57. №2. C. 48–51.

5. Varrik N.M. Termostojkie volokna i teplozvukoizoljacionnye ogneshhitnye materialy [Heat-resistant fibers and heatsound-proof fireproof materials] //Trudy VIAM. 2014. №6. St. 07 (viam-works.ru).
6. Composite sewing thread of ceramic fibers: pat. №4375779 US; publ. 08.03.1983.
7. Aluminum borate and aluminum borosilicate articles: pat. №3795524 US; publ. 05.03.1974.
8. Twisted ceramic fiber sewing thread: pat. №4430851 US; publ. 14.02.1984.
9. Razdel kataloga produkcii kompanii 3M (SShA) www.3m.com Ceramic Textiles and Composites Nextel 440 Braided Sleeveing.
10. Sposob poluchenija vysokotemperaturnogo volokna na osnove oksida aljuminija [Way of receiving high-temperature fiber on the basis of aluminum oxide]: pat. №2212388 Ros. Federacija; opubl. 20.09.2003.
11. Zimichev A.M., Varrik N.M., Dalin M.A. Izmerenie modulja uprugosti volokon iz tugoplavkih oksidov [Measurement of elastic modulus of fibers from high-melting oxides] //Trudy VIAM. 2014. №6. St. 05 (viam-works.ru).
12. Shheglova T.M., Zimichev A.M., Varrik N.M. Issledovanie obrazcov shnura iz volokon Fiber-frax [Research of samples of cord from Fiberfrax fibers] //Trudy VIAM. 2014. №9. St. 05 (viam-works.ru).
13. Zimichev A.M., Varrik N.M. Termogravimetricheskie issledovanija nitej na osnove oksida aljuminija [Thermogravimetric researches of threads on the basis of aluminum oxide] //Trudy VIAM. 2014. №6. St. 06 (viam-works.ru).
14. Shhetanov B.V., Ivahnenko Ju.A., Babashov V.G. Teplozashhitnye materialy [Heat-protective materials] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 12–20.
15. Ivahnenko Ju.A., Babashov V.G., Zimichev A.M., Tinjakova E.V. Vysokotemperaturnye teploizoljacionnye i teplozashhitnye materialy na osnove volokon tugoplavkih soedinenij [High-temperature heatinsulating and heat-protective materials on the basis of fibers of high-melting connections] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 380–386.
16. Lugovoj A.A., Babashov V.G., Karpov Ju.V. Temperaturoprovodnost' gradientnogo teploizoljacionnogo materiala [Temperaturoprovodnost of gradient heatinsulating material] //Trudy VIAM. 2014. №2. St. 02 (viam-works.ru).