Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №1 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-1>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/51TVN115.pdf>

DOI: 10.15862/51TVN115 (<http://dx.doi.org/10.15862/51TVN115>)

УДК 66.045.3

Бабашов Владимир Георгиевич

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов»

Россия, Москва¹

Начальник сектора

E-mail: ed@lenta.ru

Луговой Алексей Алексеевич

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов»

Россия, Москва

Инженер

E-mail: ed@lenta.ru

Карпов Юрий Валерьевич

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов»

Россия, Москва

Инженер

E-mail: ed@lenta.ru

Температуропроводность гибкого градиентного теплоизоляционного материала

¹ проспект Буденного, 25А, Москва, Россия, 105275

Аннотация. Исследовали особенности поведения однослойных и многослойных теплоизоляционных материалов различной плотности при одностороннем нагреве. Представлены графики движения температурного фронта через объем волокнистого материала при одностороннем нагреве при 1200°C и 1590°C. Установлено влияние порядка расположения слоев различной плотности на эффективность теплоизоляции. Проведена качественная оценка эффективности теплоизоляционного материала.

Следствием наличия большого ассортимента волокон и волокнистых материалов стало использование в качестве футеровки высокотемпературных печей многослойной волокнистой теплоизоляции. При этом при выборе количества и состава слоев теплоизоляции учитывались только температура эксплуатации материала и технико-экономические показатели установки. Так в зону с высокой температурой устанавливается более дорогой и жаростойкий материал, в зону с более низкой температурой более дешевый материал. Особенности поведения многослойных и двухслойных теплоизоляционных материалов, можно выявить, изучая процесс изменения температуры в многослойном материале при одностороннем нагреве. Опытные работы проведены на нестандартном испытательном стенде с односторонним расположением силовых нагревателей. Исследования теплофизических свойств ряда волокнистых материалов показали, что можно оптимизировать подбор материалов по слоям, основываясь не только на составе материала, но и на его плотности, как характеристики, напрямую влияющей на теплопроводность.

Ключевые слова: теплоизоляция; гибкий волокнистый материал; температуропроводность; теплоизоляционный материал; нагрев; пространство; тепловые агрегаты; регулирование температуры; датчики; эксплуатация.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Бабашов В.Г., Луговой А.А., Карпов Ю.В. Температуропроводность гибкого градиентного теплоизоляционного материала // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №1 (2015)
<http://naukovedenie.ru/PDF/51TVN115.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/51TVN115

В настоящее время для теплоизоляции тепловых агрегатов все чаще используются волокнистые *теплоизоляционные материалы (ТИМ)*, выгодно отличающиеся низкой теплопроводностью, высокими температурами эксплуатации, химической инертностью и низким удельным весом. [1,2]. Известно, что футеровка тепловых агрегатов волокнистыми материалами позволяет в 2-2,5 раза снизить вес печи, в 2 раза снизить инерционность, на 25-50% уменьшить затраты энергии [3-6].

В промышленности широко представлены различные виды волокнистых теплоизоляционных материалов, различающихся видом исходных минеральных волокон, так же основными характеристиками материалов являются их максимальная рабочая температура и коэффициент теплопроводности.

По уровню температур высокотемпературные изоляционные материалы можно разделить на четыре группы:

- с максимальной рабочей температурой до 700°C. К ним относятся многие строительные и теплотехнические изоляции общего назначения, органические и неорганические: минеральная вата, стекловата, ячеистые бетоны, пеностекло, асбестовые, соевитовые, каолиновые и другие теплоизоляционные изделия.
- огнеупорные, волокнистые и засыпные изоляции с максимальной рабочей температурой до 1750°C, главным образом на основе оксидной керамики из SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , ZrO_2 , ZrSiO_4 , шамотные и диначовые легковесные изделия.
- высокоогнеупорные пористые изоляции с предельной рабочей температурой до 2300 – 2500°C - из корунда, магнезита, хромомagneзита и диоксида циркония, а также из высокоогнеупорных оксидов бериллия, иттрия, скандия и др.
- особо высокотемпературные изоляции с предельной рабочей температурой более 2500°C. Изоляции этой группы изготавливают из углеграфитовых материалов, на основе тугоплавких металлов и их соединений и сплавов, а также из некоторых оксидов: ThO_2 , HfO_2 . [7-11]

Подобрав материал на основе одного или нескольких видов волокон, но разной плотности, можно оптимизировать свойства теплоизоляции сразу по нескольким параметрам. Из зависимости коэффициента теплопроводности от плотности волокнистого теплоизоляционного материала на основе волокон оксида алюминия, следует, что более плотный материал имеет более низкие значения коэффициента теплопроводности в области температур выше 1000-1200°C, а низкоплотные материалы имеют минимум значений теплопроводности при температурах ниже 800-900°C [12]. Таким образом, первым шагом к оптимизации структуры высокотемпературной теплоизоляции является применение двухслойного материала, более плотной стороной обращенного к горячей зоне.

Эксперименты проводили на нестандартном испытательном стенде с односторонним расположением силитовых нагревателей. Схема рабочей части стенда приведена на рисунке 1. Источником теплового потока являются силитовые нагреватели, расположенные в нижней части рабочего пространства над подом и изолированные со всех сторон, кроме верхней части. Над нагревателями, устанавливается защитная маска, в которой вырезано окно для образца размером 100×100 мм. На это окно сверху накладывается образец гибкого ТИМ, размеры которого превышают размеры окна, причем, для максимального приближения к условиям одностороннего нагрева, вся боковая поверхность ТИМ также изолируется. На верхнюю поверхность образца помещается алюминиевая пластина.

Расстояние между силитовыми нагревателями и «горячей» поверхностью образца составляет 50 мм. Измерение и регулирование температуры производится с помощью термоэлектрических датчиков, расположенных на горячей поверхности ТИМ (у нагревателей),

на металлической пластине и внутри образца ТИМ. Показания всех датчиков фиксируются с помощью контрольно-следящего прибора типа РМТ 39-DM сопряженного с компьютером.

Рисунок 1. Схема рабочей зоны испытательного стенда: 1 – металлическая (алюминиевая) пластина; 2 – образец испытываемого материала; 3 – термопара «холодной» стороны; 4 – теплоизоляция стенда; 5 – защитная маска; 6 – термопара «горячей стороны»; 7 – силитовые нагреватели

Образцы ТИМ квадратной формы с размером стороны 100 ± 10 мм и толщиной 50 ± 2 мм вырезали из волокнистых матов: либо из одного мата толщиной 50 мм, либо набирали послойно из матов толщиной 5, 10 или 15 мм.

В ходе эксперимента испытываемый образец нагревали до температуры 1200°C и выдерживали до момента установления стационарного теплового потока (прекращение роста температуры на «холодной» стороне образца).

Также возможно проводить испытания при температуре 1590°C , что является максимально достижимой температурой на данном стенде. Время выдержки при максимальной температуре не превышает 10 мин, что обусловлено техническими возможностями установки и не позволяло добиться установления стационарного теплового потока.

На «холодной» поверхности образца ТИМ располагали металлическую пластину из алюминиевого сплава, температуру которой измеряли термоэлектрическим датчиком. Из различных способов обеспечения теплового контакта термопары с поверхностью алюминиевой пластины (винтовое крепление, зачеканивание спая в отверстие на пластине, помещение спая в расплав капли олова на пластине) оптимальным оказалось прижатие спая термопары к пластине с помощью груза.

В качестве эталонных использовали образцы жесткого материала с плотностью 140 кг/м^3 с известной теплопроводностью. Изменение температуры на холодной стороне образца в зависимости от времени нагрева представлено на рисунке 2.

Рисунок 2. Изменение температуры эталонного образца из кварцевого волокна при до $T=1200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Установка выходила на температуру выдержки в течение 20 минут, к этому времени температура на холодной стороне увеличивалась незначительно. После выхода на температуру выдержки температура на холодной стороне образца медленно росла (в течение 35-40 мин), затем установилась на одном уровне (небольшой рост температуры в пределах погрешности измерений).

Исследовались образцы, различной плотности, полученные методом вакуумного формования из волокнистой пульпы после гомогенизации на миксерной мешалке [1,2].

Полные режимы испытания образцов, 1 - однослойного гибкого материала с плотностью 120 кг/м^3 и 2 - многослойного материала с расположением слоев по возрастанию плотности в направлении стороны с высокой температурой, представлены на рисунке 3.

Рисунок 3. Изменение температуры в образцах из волокон оксида алюминия:
1-многослойного; 2- однослойного

Особенности теплоизоляционных свойств многослойных и однослойных волокнистых материалов можно выявить, изучая процесс изменения температуры в многослойном материале при одностороннем нагреве.

Эти данные совпадают с результатами, полученными Грибковым, Щетановым и др. при анализе и сравнении исследований волокнистых материалов [6] и представленными на рисунке 4.

Рисунок 4. Теплопроводность материалов различных фирм, изготовленных из волокон на основе оксида алюминия и обладающих различной плотностью

При более высоких температурах более плотные волокнистые материалы обладают меньшей теплопроводностью, а менее плотные материалы имеют минимум теплопроводности в зоне низких температур. Этот факт имеет практическое значение для разработки новых теплоизоляционных материалов.

Для проверки этих данных были проведены исследования волокнистых материалов различной плотности, полученные методом вакуумного формования из волокнистой пульпы.

Образцы разной плотности, соответственно 100, 200 и 300 кг/м³ исследовались в режиме одностороннего нагрева при температуре 1200 °C. После достижения соответствующей температуры на "горячей" стороне была установлена выдержка, в ходе которой температура "холодной" стороны, выйдя на определенное значение, перестала расти, что свидетельствует об установлении стационарного теплового режима.

Результаты испытаний материалов на основе волокон из оксида алюминия различной плотности при температуре до 1200 °C с выдержкой при максимальной температуре для выхода на тепловой поток близкий к стационарному представлены на рисунке 5. Существенного влияния плотности на теплоизоляционные свойства материалов не выявлено. Разница температур между материалами находится в пределах погрешности измерений (10-15 °C) [13].

Рисунок 5. Зависимость температуры «холодной» стороны при испытании материалов различной плотности на основе волокон оксида алюминия

Аналогичные результаты получены при исследовании разноплотных материалов на основе волокон оксида кремния (кварц) по тому же режиму нагрева (рисунок 6).

Рисунок 6. Зависимость температуры «холодной» стороны от плотности для волокнистых материалов на основе силикатных волокон

Минимум температуры «холодной» стороны наблюдался при исследовании образца с плотностью 200 кг/м³, но показатели температуры при всех плотностях близки, и могут находиться в пределах возможной ошибки и погрешности измерений.

Дальнейшее исследование проводили на образцах материалов выполненных из волокон на основе оксида алюминия состава 80:20, аналогичных представленным в испытании при 1200 °С, но при максимально достижимой на исследовательском стенде температуре 1590 °С. Результаты эксперимента представлены на рисунке 7.

Рисунок 7. Изменение температур на "холодной" стороне в образцах различной плотности из волокон на основе оксида алюминия при испытании до температуры 1590 °С

Как видно из рисунка, температура на "холодной" стороне образцов при максимальной температуре значительно различается в зависимости от плотности материала. В точке примерно 90 мин. соответствующей достижению температуры 1590 °С разность температур между образцами материалов разной плотности составляет уже 35-50 °С.

В работах [13, 14] были представлены результаты исследования теплопроводности различных волокнистых материалов, при этом необходимо упомянуть, что на основании зависимостей коэффициента теплопроводности λ от температуры и плотности материала не удалось обнаружить уменьшение температуры, в связи с быстрым нагревом и несовершенством проводимого эксперимента. В области температур выше 1200 °С коэффициент теплопроводности более плотных материалов ниже, чем у менее плотных.

Результаты, полученные в ходе исследования разницы температур теплоизоляционных материалов на основе волокон оксида алюминия, показывают, что до 1200 -1300 °С значения температуры на "холодной" стороне близки для материалов с различным удельным весом, отличающимся не более, чем в 3 раза, а имеющиеся различия (5-15 °С) можно объяснить погрешностями эксперимента и несовершенством методики.

При возрастании температуры до 1590 °С и незначительной выдержке при этой температуре разница в значении температуры на "холодной" стороне возросла до 50- 60 °С и видимо продолжала бы возрастать по мере приближения к режиму установившегося теплового потока. Таким образом, точку зрения, что в зоне более низких температур (до 1200-1300 °С)

лучшими теплоизоляционными свойствами обладают менее плотные материалы, а при высоких температурах (выше 1500 °С) - материалы с более высокой плотностью можно считать обоснованной, что подтверждает приведенные выше данные других авторов. При испытаниях образцов были получены результаты, значительно превышающие ограничения, установленные требованиями, предъявляемыми основными потребителями подобных материалов. Температура металлической пластины, при толщине образца около 50 мм, достигала 320-330 °С при температуре с "горячей" стороны образца 1590 °С, результат представлен на рисунке 8. Исследуемый образец состоял из 5 слоев гибкого волокнистого материала толщиной примерно 10-15 мм одной плотности. Термодатчики (термопары ХА(S) и ПП(B)) были расположены как на нагреваемой и охлаждаемой стороне образца, так и между слоями на расстояниях 14 и 35 мм от нагреваемой стороны.

Рисунок 8. Изменение температуры на штатном образце по слоям изоляции ВТИ-16

На графике также представлено изменение температуры по слоям характерное для любых слоистых образцов. Вполне естественно, что достижение стационарного теплового потока через каждый последующий слой, происходит с запаздыванием в несколько (10 -20) минут. Причем время запаздывания уменьшается по мере удаления от нагреваемой стороны.

Отмечено, что при исследованиях образцов обшитых кремнеземной тканью температура на алюминиевой пластине на 30-60 °С выше, чем при испытаниях волокнистых матов, не имеющих обшивки. Можно предположить, что ткань не является прозрачным для излучения материалом, поэтому эффект повышения температуры обусловлен повышенным нагревом кремнеземной облицовки.

Тем не менее, задача уменьшения температуры на алюминиевой пластине, потребовала внесение изменений в структуру теплозащитного материала в виде создания пакета из разноплотных материалов.

В условиях, когда температура в разных слоях образца изменяется от 200 до 1600 °С, соотношение тепловых потоков, обусловленных разными механизмами теплопередачи, может сильно отличаться по толщине образца. Как было отмечено выше теплопроводность более плотных материалов выше при низких температурах (800-1200°С), а материал с низкой плотностью имеет более высокую теплопроводность при температурах более 1200 °С. Этот факт может быть связан с тем, что в зоне низкой температуры теплопередача в основном осуществляется кондукцией и конвекцией, в то время как при температурах выше 1000 °С наиболее значительный вклад вносит теплопередача излучением.

С целью уменьшения температуры на противоположной от нагреваемой стороне были изготовлены и испытаны образцы, составленные из нескольких слоев волокнистых матов разной плотности от 70 г/см³ до 300 г/см³ со средней плотностью 170-200 кг/м³. В первых испытаниях в качестве плотного материала была использована жесткая плитка материала ТЗМК-1700 с плотностью $\rho=350$ кг/м³ (в дальнейшем использовались волокнистые маты материала ВТИ-21 плотностью 300 ± 30 кг/м³), далее слой материала типа ВТИ-20 с плотностью $\rho=200\pm22$ кг/м³, затем слой материала ВТИ-19 плотностью $\rho=100-140$ кг/м³. На рисунке 9 представлено распределение температуры в различных слоях образца.

Рисунок 9. Распределение температур в градиентном образце

Для сравнения на рисунке 10 приведено изменение температуры на "холодной" стороне образца при нагревании образцов одной плотности и градиентных образцов. Видно, что градиентная изоляция более эффективно снижает температуру металлической пластины. При температуре 1200°С после выдержки в течение 50-60 мин процесс выходит на режим

стационарного теплового потока по всему сечению образца, и при необходимости возможно провести вычисление теплопроводности материала.

Рисунок 10. Сравнение температуры "холодной" стороны при испытаниях штатного и градиентного образцов

Исходя из полученных результатов, можно говорить о более высоких теплозащитных свойствах слоистых градиентных материалов, состоящих из слоев разной плотности, расположенных по мере увеличения плотности по мере удаления от нагреваемой стороны. Как было упомянуто выше, так как время выдержки при максимальной температуре незначительно, установления режима стационарного теплового потока не было достигнуто.

Наибольший интерес представляет поведение многослойного образца с уменьшением градиента плотности по направлению к холодной стороне.

Измерена разница температур при длительной выдержке при температуре 1200 °C при установившемся тепловом потоке на холодной пластине при исследовании волокнистого материала с плотностью около 100 кг/м³ и образца градиентного материала со средней плотностью 170-200 кг/м³ представлена на рисунке 11.

Рисунок 11. Разница температур 1- штатного образца и 2 - градиентного

На температуре 1200 °C разность температур в образце одной плотности и градиентным не так заметна, как при более высоких температурах.

Таким образом, подтверждается высказанное в работах многих авторов предположение, что волокнистые материалы с меньшей плотностью обладают более высокими теплоизоляционными свойствами в области более низких температур (1 100-1200 °C), а материалы на основе аналогичных волокон, но большей плотности эффективнее работает при температурах выше 1200-1300 °C. Использование градиентного материала, с расположением слоев по увеличению плотности по направлению к источнику нагрева, позволит добиться оптимального температурно-веса эффекта материала. Использование слоистой структуры позволит применять в менее горячих зонах слои, изготовленные из других видов волокон. Уменьшение доли высокотемпературных волокон на основе оксида алюминия в составе ТИМ позволит снизить стоимость материала. Возможно создание материала с внутренними слоями, обладающими определенными заданными свойствами (например, радиофизическими), что позволит в дальнейшем создать multifunctional теплоизоляцию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2213074 Россия. Способ получения неорганического волокнистого материала, № 2002102884, заявл. 1.02.2002, опубл. 27.09.2003.
2. Пат. 5319949 Япония. Производство формованного продукта на основе волокна оксида алюминия, № 19920148038, заявл. 15.05.1992, опубл. 3.12.1993.
3. Интернет-ресурс <http://www.rusmet.ru> / 12.08.11 / Инновационные материалы. 2011
4. Janssen, R. Reaction Formed Alumina-Alumina FRCMC / Rolf Janssen // 7th International Conference on High Temperature Ceramic Matrix Composites (HT-CMC 7), 20 – 22 сентября, 2010, Байройт, Германия – с. 398-414.
5. Каблов Е.Н., Щетанов Б.В. Методы получения монокристаллических волокон оксида алюминия для композиционных материалов//Материалы 29 ежегодной международной конф. И семинара «Композиционные материалы в промышленности» 1-5 июня 2009г, Ялта, Крым, стр. 150-155.
6. Грибков В. Н., Мизюрина Г. Т., Щетанов Б. В., Ляпин В. В.. «Возможности волокнистой тепловой защиты». Труды первой международной авиакосмической конференции «Человек-Земля-Космос», том 5. «Материалы и технология производства авиакосмических систем», гл. редактор Г.Е. Лозино-Лозинского, редакторы: Р.Е. Шалин, В.Е. Подколзин. – М., Военная академия им. Ф.Э. Дзержинского, 1995. с. 223-231.
7. Балинова Ю.А. Непрерывные поликристаллические волокна оксида алюминия для композиционных материалов: автореф. дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук 05.16.09 / Ю.А. Балинова. – Москва, 2012. 20 с.
8. Кац С.М. Высокотемпературные теплоизоляционные материалы. – М.: Металлургия, 1981. - 232 с.
9. Дж.Р. Хейг, Дж.Ф. Линч и др.: «Огнеупоры для космоса». Москва, «Металлургия», 1967, 268 стр.
10. Ю.А. Ивахненко, В.Г. Бабашов, А.М. Зимичев, Е.В. Тинякова. / Высокотемпературные теплоизоляционные и теплозащитные материалы на основе волокон тугоплавких соединений // Авиационные материалы и технологии №5, 2012 – С. 380-385.
11. Гращенков Д. В., Балинова Ю. А., Тинякова Е. В. Керамические волокна оксида алюминия и материалы на их основе. // Стекло и керамика. – 2012 – № 4.– С. 32-36.
12. Интернет- ресурс <http://www.izomat.ru/> Шабурова Т.А. Изоляционные материалы выпускаемые ЗАО «ИЗОМАТ» (2008 г.).
13. Луговой А.А., Бабашов В.Г., Карпов Ю.В./Доклад на конференции «Современные высокотемпературные композиционные материалы и покрытия», Москва, ВИАМ, 4 апреля 2013 г.
14. Стенд для качественной оценки теплоизоляционных свойств материалов/ Каблов Е.Н., Щетанов Б.В., Бабашов В.Г., Луговой А.А./ заявка на патент №2014138716, дата поступления 25.09.2014 г.

Рецензент: Таджиходжаев Закирходжа Абдусаттарович – доктор технических наук, профессор (Бухара, Узбекистан), электронный научный журнал "Наука. Мысль", зав. сектором технологического развития.

Babashov Vladimir Georgievich

All-russian scientific research institute of aviation materials
Russia, Moscow
E-mail: ed@lenta.ru

Lugovoj Aleksej Alekseevich

All-russian scientific research institute of aviation materials
Russia, Moscow
E-mail: ed@lenta.ru

Karpov Jurij Valer'evich

All-russian scientific research institute of aviation materials
Russia, Moscow
E-mail: ed@lenta.ru

The thermal diffusivity of a flexible insulating material gradient

Abstract. Abstract: To investigate the behavior of single-layer and multi-layer heat-insulating materials of different densities with one-sided heating. Are graphs of the temperature front through the movement amount of the fibrous material in one-sided heating at 1200 ° C and 1590 ° C. The effect of the order of the layers of different density on the effectiveness of the insulation. Qualitative assessment of the effectiveness of insulation material. Due to the presence of a large range of fibers and fibrous materials was used as a high-temperature furnace lining multilayer fiber insulation. In this case, the choice of the number and composition of the layers of insulation into account only the operating temperature of the material and technical and economic indicators of the installation. Thus, in the high temperature zone is set and more expensive heat-resistant material, into a zone of lower temperature cheaper material. Features of behavior of multi-layer and double-layer thermal insulation materials, can be identified by studying the process of change of temperature in the laminate with one-sided heating. Experimental work carried out on non-standard test bench with one-sided arrangement silit heaters. Study of thermal properties of a number of fibrous materials have shown that it is possible to optimize the selection of materials in layers, based not only on the composition of the material, but also on its density as characteristics directly affect the thermal conductivity.

Keywords: Insulation; flexible fibrous material; thermal diffusivity; thermal insulation material; heating; space; thermal units; temperature control sensors; operation.

REFERENCES

1. Pat. 2213074 Rossiya. Sposob polucheniya neorganicheskogo voloknistogo materiala, № 2002102884, zayavl. 1.02.2002, opubl. 27.09.2003.
2. Pat. 5319949 Yaponiya. Proizvodstvo formovannogo produkta na osnove volokna oksida alyuminiya, № 19920148038, zayavl. 15.05.1992, opubl. 3.12.1993.
3. Internet-resurs <http://www.rusmet.ru> / 12.08.11 / Innovatsionnye materialy. 2011
4. Janssen, R. Reaction Formed Alumina-Alumina FRCMC / Rolf Janssen // 7th International Conference on High Temperature Ceramic Matrix Composites (HT-CMC 7), 20 – 22 sentyabrya, 2010, Bayroyt, Germaniya – s. 398-414.
5. Kablov E.N., Shchetanov B.V. Metody polucheniya monokristallicheskih volokon oksida alyuminiya dlya kompozitsionnykh materialov//Materialy 29 ezhegodnoy mezhdunarodnoy konf. I seminar «Kompozitsionnye materialy v promyshlennosti» 1-5 iyunya 2009g, Yalta, Krym, str. 150-155.
6. Gribkov V. N., Mizyurina G. T., Shchetanov B. V., Lyapin V. V.. «Vozmozhnosti voloknistoy teplovoy zashchity». Trudy pervoy mezhdunarodnoy aviakosmicheskoy konferentsii «Chelovek-Zemlya-Kosmos», tom 5. «Materialy i tekhnologiya proizvodstva aviakosmicheskikh sistem», gl. redaktor G.E. Lozino-Lozinskogo, redaktory: R.E. Shalin, V.E. Podkolzin. – M., Voennaya akademiya im. F.E. Dzerzhinskogo, 1995. s. 223-231.
7. Balinova Yu.A. Nepreryvnye polikristallicheskie volokna oksida alyuminiya dlya kompozitsionnykh materialov: avtoref. dis. na soiskanie uchenoy stepenikandidata tekhnicheskikh nauk 05.16.09 / Yu.A. Balinova. – Moskva, 2012. 20 s.
8. Kats S.M. Vysokotemperaturnye teploizolyatsionnye materialy. – M.: Metallurgiya, 1981. - 232 s.
9. Dzh.R. Kheyg, Dzh.F. Linch i dr.: «Ogneupory dlya kosmosa». Moskva, «Metallurgiya», 1967, 268 str.
10. Yu.A. Ivakhnenko, V.G. Babashov, A.M. Zimichev, E.V. Tinyakova. / Vysokotemperaturnye teploizolyatsionnye i teplozashchitnye materialy na osnove volokon tugoplavkikh soedineniy // Aviatsionnye materialy i tekhnologii №S, 2012 – S. 380-385.
11. Grashchenkov D. V., Balinova Yu. A., Tinyakova E. V. Keramicheskie volokna oksida alyuminiya i materialy na ikh osnove. // Steklo i keramika. – 2012 – № 4.– S. 32-36.
12. Internet- resurs <http://www.izomat.ru/> Shaburova T.A. Izolyatsionnye materialy vypuskaemye ZAO «IZOMAT» (2008 g.).
13. Lugovoy A.A., Babashov V.G., Karpov Yu.V./Doklad na konferentsii «Sovremennye vysokotemperaturnye kompozitsionnye materialy i pokrytiya», Moskva, VIAM, 4 aprelya 2013 g.
14. Stend dlya kachestvennoy otsenki teploizolyatsionnykh svoystv materialov/ Kablov E.N., Shchetanov B.V., Babashov V.G., Lugovoy A.A./ zayavka na patent №2014138716, data postupleniya 25.09.2014 g.