

УДК 661.666, 621.783

А.Г. Щурик, В.М. Бушуев

ОАО «Уральский научно-исследовательский институт
композиционных материалов», г. Пермь

П.И. Панов

ОАО «Красноярский машиностроительный завод»

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТЕПЛОВЫХ УЗЛОВ ИЗ УУКМ

Необходимость увеличения размеров и прочности материала деталей высокотемпературных нагревательных устройств обусловили возможность замены графитовых деталей конструкций на детали, изготовленные из углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ). Низкая стойкость промышленных графитов по отношению к парам и расплаву кремния и малый ресурс работы графитовой оснастки в парах кремния составляют основную проблему при эксплуатации тепловых узлов из графита в установках роста монокристаллов кремния. Описаны технологические приемы, обеспечивающие возможность изготовления из УУКМ элементов теплового узла установки для выращивания монокристаллов кремния. При разработке нагревателей из УУКМ была избрана концепция цельных нагревателей при задании минимальных припусков на последующую механическую обработку. Результаты исследований температурной зависимости удельного электросопротивления образцов материалов «Углекон» разной модификации учтены при изготовлении нагревателя с целью обеспечения величины его электросопротивления на уровне графитового варианта. Такие элементы, как нагреватель, чаша для кварцевого тигля, шток с подставкой под чашу, боковые теплозащитные экраны, поддон для сбора жидкого кремния, изготовленные из УУКМ, заменяют аналогичные детали из графита. Названные элементы изготовлены с использованием углеродной ткани и термоградиентного и изотермического методов осаждения углеродной матрицы. Герметизация этих деталей обеспечивалась путем нанесения на них шликерного углеродсодержащего покрытия и последующего осаждения газофазного пироуглеродного покрытия. Испытания показали, что нагреватель и другая оснастка из УУКМ обеспечивают в установке роста монокристаллов кремния выработку продукции требуемого качества. Из УУКМ были изготовлены также тепловые узлы для получения особо чистых металлов, для хлораторов электролизеров, для вакуумной очистки некоторых материалов.

Ключевые слова: углерод-углеродные композиционные материалы, тепловой узел, удельное электросопротивление, нагреватель, чаша, шток, экран, поддон, герметизация, пироуглерод.

A.G. Shchurick, V.M. Bushuev

Urals Scientific Reserch Institute of Composite Materials, Perm

P.I. Panov

“Krasnoyarsk engineering plant” JSC

MANUFACTURING DISTINCTIONS OF CARBON-CARBON COMPOSITE FURNACE DETAILS

The necessity in upsizing and material fortification of hightemperature heater element details caused the replaceability of graphitic constructional details on carbon-carbon composite material (CCCM) details. The main problem appearing during graphitic heat elements operation in reactor for silicon monocrystal growth is low stability of technical graphite to vapour and liquid silicon and low life cycle of graphitic accessory. Manufacturing methods providing furnace heat parts-making capability from CCCM for silicon monocrystal growth are described. At designing CCCM heaters whole heater conception with minimal allowances for machining was chosen. Results of study specific resistance temperature dependence of different «Uglecon» material types were allowed at heater manufacturing to provide its resistance at graphitic level. Such CCCM furnace elements as heater, quartz crucible bowl, rod with delivery for bowl, lateral heat shields and crucible table for collection silicon replace graphitic analogues. These elements were made by thermogradient and isothermal carbon matrix deposition on to carbon cloth. Hermetization of elements was provided by carbon containing sealing coating with following pyrolytic carbon deposition at surface. Test results show that CCCM heater and other CCCM furnace elements in reactor for silicon monocrystal growth provide required quality. CCCM furnaces are used for production very-high-purity metals, electrolytic cells chlorates and vacuum purification of some materials.

Keywords: carbon-carbon composite material, heat element, specific resistance, heater, bowl, rod, shield, crucible, hermetization, pyrolytic carbon.

В нагревательных устройствах и материалах оснастки для эксплуатации при высоких температурах широко распространено использование углеродных материалов [1–3]. В производстве особо чистых материалов, а также материалов полупроводниковой чистоты в качестве оснастки применяется особо чистый графит марки МПГ-ОСЧ [4]. В ряде случаев этот графит может быть заменен на углерод-углеродный композиционный материал (УУКМ), который может обеспечить более высокие значения прочности конструкции и габариты, которые недостижимы с заготовками из графита МПГ-ОСЧ.

Низкая стойкость промышленных графитов по отношению к парам и расплаву кремния порождает основные проблемы при эксплуатации тепловых узлов из графита в установках роста монокристаллов кремния. Ресурс графитовой оснастки в парах кремния мал. С развити-

ем техники получения полупроводниковых материалов возникает также необходимость в повышении габаритов тепловых узлов установок по выращиванию монокристаллов кремния по методу Чохральского. Разработка таких узлов из УУКМ отвечает растущим требованиям по прочности и теплофизическим характеристикам используемых материалов.

Элементами теплового узла ростовой установки «Кедр» (созданной в ФГУП «Красмаш»), которые могут быть изготовлены из УУКМ, являются нагреватель, чаша для кварцевого тигля, штوك с подставкой под чашу, боковые теплозащитные экраны, поддон для сбора пролившегося кремния. Тепловой узел с деталями из УУКМ был разработан с участием Уральского научно-исследовательского института композиционных материалов.

Экспериментальная часть и материалы

При разработке нагревателей из УУКМ была избрана концепция цельных нагревателей. Требуемые размеры заготовок из УУКМ могут быть получены при задании минимальных припусков на последующую механическую обработку. В качестве материала нагревателя использовался материал «Углекон» на основе каркаса из ткани УРАЛ-ТМ-4 и пироуглеродной матрицы термоградиентного и изотермического методов уплотнения [5]. Физико-механические и теплофизические характеристики этого материала приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические и теплофизические свойства
испытанных УУКМ

Наименование показателя	Луч		Углекон-Г	Углекон-ГИ
	$\gamma < 1,55$	$\gamma > 1,55$		
Плотность кажущаяся γ , г/см ³	1,17–1,55	1,57–1,67	1,35–1,45	1,28–1,35
Пористость открытая, %	16,8–27,9	12,8–16,8	8,5–9,0	9–12
Предел прочности при растяжении, МПа:				
Осевое направление	71,0–110	108–175	58,8–71,5	73,5–83,2
Кольцевое направление	82,4–133	143–167	–	33,4–37,3
Предел прочности при сжатии, МПа:				
Осевое направление	63,0–91,3	84,4–117	114–152	80,5–113
Кольцевое направление	90,0–133	122–158	124	102

Окончание табл. 1

Наименование показателя	Луч		Углекон-Т	Углекон-ТИ
	$\gamma < 1,55$	$\gamma > 1,55$		
Предел прочности при смятии, МПа: Осевое направление	–	–	98,0–135	–
Предел прочности при изгибе, МПа: Осевое направление	129–164	148–200	112	99,0
Кольцевое направление	144–175	151–216	58,0–87,3	69,5–83,4
Модуль упругости при растяжении, ГПа	33,1–37,8	39,4–43,6	15,2–19,2	14,7–18,6
Ударная вязкость, кДж/м ² : Осевое направление	7,95–11,2		7,85	7,35
Кольцевое направление	12,5–13,8		7,35	6,85
Коэффициент линейного термического расширения, К ⁻¹ ·10 ⁶ : Осевое направление 20–1000 °С	0,95–1,60		2,80	2,70
20–2000 °С	3,20		4,40	4,20
Кольцевое направление 20–1000 °С	1,32		2,75–2,80	2,70–2,80
20–2000 °С	1,81		3,30	3,20
Теплопроводность, Вт/м·К: Осевое направление 400 °С	2,79		4,25	4,20
2000 °С	5,84		5,02	5,0
Радиальное направление 400 °С	2,45		3,6	3,5
2000 °С	3,83		6,1	5,9
Теплоемкость, кДж/кг·К	0,66		0,69–0,73	0,69–0,73

Сопротивление нагревателя для ростовой установки «Кедр» должно быть согласовано с вольт-амперными характеристиками питающих трансформаторов и равняться $(0,02 \pm 0,005)$ Ом. Поэтому при замене материала нагревателя необходимо знать и учитывать при его проектировании величину удельного электросопротивления (УЭС). Если для углеграфитовых материалов наряду с анизотропией удельного электросопротивления отмечаются его экстремальные значения с минимумом, отмечаемым в области температур предшествующей термообработке материала [2, 6], то для УУКМ не выявлено инверсии знака температурного коэффициента УЭС [7]. Температурная зависимость величины УЭС материалов «Углекон» значительна в области темпера-

тур от комнатной до рабочей (близкой к 1700 °С). Результаты исследований температурной зависимости УЭС, выполненных на образцах материалов «Углекон» [5] разной модификации, подвергнутых предварительной термообработке при разных температурах, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Температурная зависимость удельного электросопротивления образцов материала «Углекон»

Материал	Удельное электросопротивление (мкОм·м) при температуре (К)							
	300	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000
I	51,2	33,7	30,4	27,8	25,7	23,6	21,5	19
II	68,9	44,5	39,8	31,8	29,5	27	27,1	25,6
III	50,4	25,8	21,3	18,7	18	17,7	17,3	17,5
IV	55,7	31,2	27,8	25,8	24,7	24,1	23,3	22,1

Примечания: I – Углекон-Т, $T_{обр} = 1273$ К, $\gamma = 1,35...1,45$ г/см³.

II – Углекон-ТИ, $T_{обр} = 1273$ К, $\gamma = 1,28...1,35$ г/см³.

III – Углекон-Т, $T_{обр} = 2673$ К.

IV – Углекон-ТИ, $T_{обр} = 2673$ К.

Один из вариантов реализованной конструкции нагревателя изображен на рис. 1. При комнатных температурах УЭС испытанных УУКМ в 5 и 6, а при 1700 °С в 2,7 и 3,3 раза выше, чем для графита марки ГМЗ. УУКМ имеют сильную отрицательную температурную зависимость УЭС, характерную для большинства неграфитированных материалов. С учетом этих результатов замена графитового нагревателя на нагреватель из УУКМ при сохранении величины электросопротивления приводит к увеличению в 2,7 и 3,3 раза толщины нагревателя при том же количестве секций или к уменьшению количества секций при увеличении их ширины. В одном случае увеличивается материалоемкость нагревателя, а во втором растет неравномерность нагрева, поскольку ток идет в нагревателе кратчайшим путем (т.е. по диагонали каждой секции).

Равномерность нагрева можно повысить за счет введения в конструкцию нагревателя дополнительных пазов (см. рис. 1), огибающих основные пазы и делящих широкие секции на узкие¹ [8]. Несмотря на сокращение ширины секций, при прохождении тока имеет место по-

¹ Патент РФ № 2077120. Электронагреватель, 1995.

вышение плотности тока вблизи вершины паза и локальный перегрев. После 15–18 плавов происходит разгар материала нагревателя в вершине паза, ограничивающий его дальнейшее использование. Этот эффект присущ и графиту. В случае УУКМ ситуация усугубляется тем, что УУКМ является структурно неоднородным материалом. Избежать разгара удастся путем установки в вершине паза нагревателя из УУКМ надежно закрепленных вставок из графита.

Опробованная технология обеспечила изготовление в ОАО УНИИКМ нагревателя из УУКМ $D_{\text{н}} = 559$ мм, $D_{\text{вн}} = 508$ мм, высотой рабочей части 520 мм и шириной паза 5 мм. Нагреватель содержит 16 основных пазов и 16 огибающих. Толщина секции равна 25,5 мм. Ток к нагревателю подводится 2 лапами. При подведении тока к нагревателю с помощью 4 лап можно существенно уменьшить (в 4 раза) толщину нагревателя при неизменной ширине секций и при этом получить требуемое электросопротивление. Толщина нагревателя, в котором 2 токопроводящие лапы, составила 25,5 мм. А в нагревателе, имеющем 4 токопроводящие лапы, она будет равной 6,7 мм при $D_{\text{вн}} = 508$ мм, $D_{\text{н}} = 521,4$ мм. Кроме того, для обеспечения хорошего электрического контакта лап с нагревателем участок их сопряжения выполняется плоским, что сравнительно легко реализовать в нагревателе из УУКМ.

При увеличении габаритов нагревателей перспективной может оказаться конструкция нагревателя без паза, приведенная на рис. 2. Благодаря наличию в таком нагревателе двух шин из более электропроводного материала (чем основной материал нагревателя), ток с 1-й шины распределяется по всему нагревателю и по 2 полукругностям уходит со 2-й шины на 2-ю лапу.

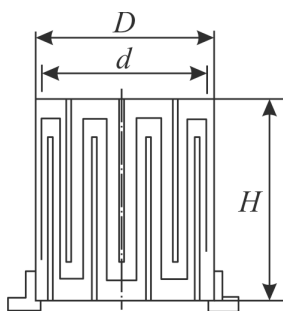


Рис. 1. Нагреватель с дополнительными пазами

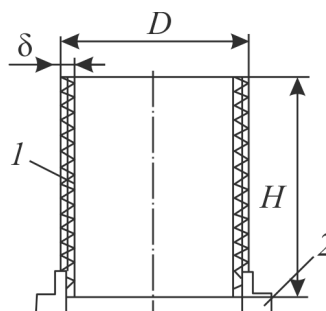


Рис. 2. Конструкция нагревателя без паза: 1 – лапа; 2 – шина

Боковые тепловые экраны были выполнены в виде внутренней и наружной тонкостенных оболочек из УУКМ, в зазоре между которыми размещался низкоплотный УУКМ «Русскарб» ($\gamma \leq 0,4 \text{ г/см}^3$). Низкая теплопроводность УУКМ и материала «Русскарб» (0,23 Вт/м·К) обеспечивают эффективность теплоизоляции. В качестве материала обечайек тепловых экранов можно использовать УУКМ «Углекон» на основе низкомолекулярной углеродной ткани марки УРАЛ-ТМ-4 или УУКМ «Луч» на основе высокомолекулярной углеродной ткани УТ-900, уплотненной пироуглеродом термоградиентным методом. Свойства материалов «Углекон» и «Луч» приведены в табл. 1.

При изготовлении тепловых экранов каркас внутренней обечайки предварительно уплотняют пироуглеродом термоградиентным методом с последующей механической обработкой. Затем по наружной поверхности обечайки производят выкладку секторов из материала «Русскарб». Наружную поверхность секторов обклеивают фольгой из термически расширенного графита. На ней формируют из углеродной ткани каркас наружной обечайки и в нем осаждают пироуглерод вакуумным изотермическим методом. При этом УУКМ внутренней обечайки также уплотняют пироуглеродом, что позволяет уменьшить его открытую пористость до 2–4 %.

В ОАО УНИИКМ разработаны 3 варианта технологии изготовления чаш. Первый из них предусматривает насыщение каркаса требуемой толщины и последующее уплотнение пироуглеродом термоградиентным методом по способу, описанному в патенте¹. Достоинством способа является его высокая производительность. Недостаток его связан с необходимостью механической обработки внутренней и наружной поверхностей чаши, что увеличивает трудоемкость изготовления.

Во втором варианте предусмотрено размещение в реакторе для уплотнения пироуглеродом углепластиковой заготовки, полученной путем пропитки каркаса фенолформальдегидным связующим и отверждения под небольшим давлением в пресс-форме, выполненной по типу пуансон-матрица. Использование приема формирования углепластиковой заготовки позволяет исключить необходимость в механической обработке внутреннего профиля чаши.

В третьем варианте производят карбонизацию углепластиковой заготовки чаши и уплотнение ее пироуглеродом вакуумным изотермическим методом. При этом исключается необходимость в механической

¹ Патент РФ № 2229437, кл. С 2, 2002.

обработке как внутреннего, так и наружного профиля. Таким образом, в зависимости от сроков поставки и количества заказываемых чаш имеется возможность выбрать тот или иной вариант их изготовления.

Отличительной особенностью штока является то, что он выполнен заодно с подставкой под чашу. Технология его изготовления предусматривает выкладку каркаса из ткани УРАЛ-ТМ-4 в форме трубы с отбортовкой (при этом основная часть слоев ткани с цилиндра, не прерываясь, переходит в отбортовку). Насыщение каркаса производят термоградиентным методом с использованием специально разработанной оснастки.

Поддон выполняется тонкостенным для уменьшения его веса. Для обеспечения надежного соединения втулок с дном поддона он выполнен как единое целое. Герметизация поддона осуществлена в соответствии со способами, описанными в патентах¹. Герметичность поддону придает пироуглеродное покрытие, которое формируется по его внутренней и наружной поверхности.



Рис. 3. Элементы теплового узла установки роста монокристаллов кремния, изготовленные из УУКМ и содержащие чашу, шток, поддон, тепловой экран

¹ 10. Патент РФ № 2006493, кл. С 04 В 38/09, 1994; Патент РФ № 2186726, кл. С 01 В 31/00, 2002.

Проведение герметизации предусматривает механическую обработку детали и заполнение поверхностных пор шликером на основе мелкодисперсного графитового порошка и водного раствора поливинилового спирта концентрацией 4–8 мас. %. Поверх него наносят шликерное покрытие того же состава слоем толщиной 0,2–0,5 мм. Последующее уплотнение шликерного покрытия на поверхности и в порах УУКМ пироуглеродом изотермическим вакуумным методом с последующим осаждением пироуглеродного покрытия на поверхность детали завершает процесс герметизации [8, 9]. На снимке (рис. 3) показаны отдельные элементы теплового узла установки роста монокристаллов кремния, изготовленные из УУКМ описанными способами.

Таким образом, применение термоградиентного метода уплотнения каркасов при изготовлении заготовок деталей теплового узла и выполнение каркасов с размерами, максимально приближенными к размерам деталей, позволяет снизить затраты, а также продолжительность цикла их изготовления. В ходе последующих испытаний было установлено, что нагреватель и другая оснастка из УУКМ обеспечивают в установке роста монокристаллов кремния выработку продукции требуемого качества [10]. Наряду с описанными узлами установки роста монокристаллов кремния были разработаны и поставлялись заказчикам тепловые узлы из УУКМ для получения особо чистого свинца, теллура, а также тепловые узлы хлораторов-электролизеров и вакуумных установок, предназначенных для очистки ряда материалов. Кроме них были разработаны и поставлялись заказчикам тепловые узлы для конверторов гидрирования тетраоксида кремния.

Библиографический список

1. Локша Б.К. Проблемы теплоэнергетики и прикладной теплофизики. – 1969. – № 5. – С. 164–175.
2. Рогайлин М.И., Чалых Е.Ф. Справочник по углеграфитовым материалам. – Ленинград: Химия, 1974. – 206 с.
3. Наумов С.Г., Новик М.А., Сурков С.А. К вопросу о стойкости графитовых нагревателей // Конструкционные материалы на основе углерода. – М.: Металлургия, 1979. – № 14. – С. 100–104.
4. Новак Ю.В., Куликов Ю.Г., Матющенко Г.Н. Статистическое исследование изменения удельного электросопротивления мелкозернистого графита в процессе газотермического рафинирования // Конст-

рукционные материалы на основе углерода. – М.: Metallurgiya, 1978. – № 13. – С. 32–37.

5. Щурик А.Г. Искусственные углеродные материалы / Урал. науч.-исслед. ин-т композиционных материалов. – Пермь, 2009. – 342 с.

6. Искусственный графит / В.С. Островский, Ю.С. Виргильев, В.И. Костиков, Н.Н. Шипков. – М.: Metallurgiya, 1986. – 272 с.

7. Влияние температуры термообработки на электросопротивление углерод-углеродных композиционных материалов / Э.Н. Мармер, Д.А. Кривошеин, С.В. Вавилкин, С.А. Колесников. – Химия твердого топлива. – 1988. – С. 93–97.

8. Синани И.Л., Бушуев В.М. Технология изготовления герметичных конструкций на основе УУКМ // Новые технологии: материалы IX Всерос. конф. – М.: Изд-во РАН, 2012. – Т. 2. – С. 8–17.

9. Бушуев В.М., Синани И.Л., Бутузов С.Е. Перспективы использования процесса силицирования при изготовлении крупногабаритных герметичных конструкций из углерод-карбидокремниевых материалов // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2012. – Т. 55, вып. 6. – С. 63–66.

10. Бушуев В.М., Щурик А.Г., Панов П.И. Блокирование микропримесей в деталях тепловых узлов из УУКМ // Перспективные материалы. Спец. выпуск (11). – 2011. – Апрель. – С. 415–418.

References

1. Lokshha V.K. *Problemy teploenergetiki i prikladnoi teplofiziki* [Problems of heat power engineering and applied thermal physics]. 1969, Vol. 5, pp. 164-175.

2. Rogailin M.I., Chalich E.F. *Spravochnik po uglegrafitovim materialam* [Handbook of carbon-graphitic materials]. Leningrad: Khimiya, 1974, 206 p.

3. Naumov S.G., Novik M.A., Surkov S.A. *K voprosu o stoykosti grafitovykh nagrevateley* [On the question of graphite heaters durability]. *Konstruktsionnye materialy na osnove ugleroda*, Moscow: Metallurgiya, 1979, No. 14, pp. 100-104.

4. Novak Yu.V., Kulikov Yu.G., Matyushchenko G.N. *Statisticheskoe issledovanie izmeneniya udelnogo elektrosoprotivleniya melkozernistogo grafita v protsesse gazotermicheskogo rafinirovaniya* [Statistical study of change of electrical resistivity of fine-grained graphite in the course of gas-

thermal refinement] *Konstruktionnyye materially na osnove ugleroda*, Moscow: Metallurgy, 1978, no. 13, pp. 32-37.

5. Shchurick A.G. *Iskusstvennyye uglerodnye materialy* [Artificial carbon materials]. Uralskiy nauchno-issledovatel'skiy institut kompozitsionnykh materialov. Perm, 2009, 342 p.

6. Ostrovskiy V.S., Virgiliev Yu.S., Kostikov V.I., Shipkov N.N. *Iskusstvennyi grafit* [Artificial graphite]. Moscow: Metallurgy, 1986, 272 p.

7. Marmer E.N., Krivoshein D.A., Vavilkin S.V., Kolesnikov S.A. *Vliyaniye temperatury termoobrabotki na electrosoprotivleniye uglerod-uglerodnykh kompozitsionnykh materialov* [The influence of thermal treatment temperature at electrical resistance of carbon-carbon composite materials]. *Chemistry of solid fuel*, 1988, pp. 93-97.

8. Sinani I.L., Bushuev V.M. *Tekhnologiya izgotovleniya germetichnykh konstruksiy na osnove UUKM* [CCCM hermetic constructions fabrication method]. New technologies. Vol. 2. – *Materialy IX Vserossiiskoi konferentsii*. Moscow: RAN, 2012, pp. 8-17.

9. Bushuev V.M., Sinani I.L., Butuzov S.E. *Perspektivy ispolzovaniya protsessa silitsirovaniya pri izgotovlenii krupnogabaritnykh germetichnykh konstruksii iz uglerod-karbidokremnievnykh materialov* [Perspective of exploitation siliconizing procedure to fabrication large-size hermetic carbon-silicon carbide materials constructions]. *Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*, 2012, Vol. 55, No. 6, pp. 63-66.

10. Bushuev V.M., Shchurick A.G., Panov P.I. *Blokirovaniye mikroprimesei v detalyakh teplovykh uzlov iz UUKM* [Blocking of microscopical impurities in CCCM thermic assembly elements]. *Perspektivnyye materialy*. 2011, april (11), pp. 415-418.

Об авторах

Щурик Александр Георгиевич (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник ОАО «Уральский научно-исследовательский институт композиционных материалов» (614014, г. Пермь, Новозвягинская ул., д. 57, e-mail: uniikm@yandex.ru).

Бушуев Вячеслав Максимович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, главный специалист ОАО «Уральский научно-исследовательский институт композиционных материалов» (614014, г. Пермь, Новозвягинская ул., д. 57, e-mail: uniikm@yandex.ru).

Панов Петр Иннокентьевич (Красноярск, Россия) – кандидат технических наук, главный конструктор оборудования гражданского назначения ОАО «Красноярский машиностроительный завод» (660123, г. Красноярск, Красноярский рабочий пр., д. 29, e-mail: kras-mash@mail.ru).

About the authors

Shchurick Alexander Georgievich (Perm, Russian Federation) – Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, main scientific associate, Urals Scientific Reserch Institute of Composite Materials (57, Novozvyaginskaya st., Perm, 614014, Russian Federation, e-mail: uniikm@yandex.ru).

Bushuev Vyacheslav Maximovich (Perm, Russian Federation) – Candidate of Technical Sciences, main specialist, Urals Scientific Reserch Institute of Composite Materials (57, Novozvyaginskaya st., Perm, 614014, Russian Federation, e-mail: uniikm@yandex.ru).

Panov Petr Innokentievich (Krasnoyarsk, Russian Federation) – Candidate of Technical Sciences, Chief designer of civil destination equipment, “Krasnoyarsk engineering plant” JSC (29, Krasnoyarskij rabochij av., Krasnoyarsk, 660123, Russian Federation, e-mail: kras-mash@mail.ru).

Получено 14.03.2013