



УДК 678.84

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-2-8-8

## **ПОЛИИМИДНЫЙ СТЕКЛОТЕКСТОЛИТ С ПОНИЖЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ОТВЕРЖДЕНИЯ**

И.Ф. Давыдова

*кандидат технических наук*

Н.С. Кавун

*кандидат технических наук*

**Февраль 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.

*И.Ф. Давыдова<sup>1</sup>, Н.С. Кавун<sup>1</sup>*

## **ПОЛИИМИДНЫЙ СТЕКЛОТЕКСТОЛИТ С Пониженной температурой отверждения**

*Проведены исследования по модификации полиимидного связующего СП-97с. Изучен характер превращений, протекающих в связующем, содержащем модифицирующие добавки различной природы, на стадии формования материала. С учетом свойств стеклопластиков определены оптимальные количества модификаторов и оценена эффективность каждого из них для решения задачи снижения температуры отверждения связующего до 170°C. Установлена рецептура модифицированного связующего, разработан стеклотекстолит марки СП-97К и изучены его свойства. Показано, что снижение температуры отверждения не вызывает существенного изменения показателей свойств материала в различных условиях эксплуатации.*

**Ключевые слова:** полиимидное связующее, модифицирующие добавки, стеклопластики, механические, теплофизические, диэлектрические и другие свойства.

*I.F. Davydova, N.S. Kavun*

### **Polyimide fiberglass plastic with lower curing temperature**

*The research was focused on modification of the polyimide binding material SP-97s. The character of transformations in the binder, which contents modifying additives of different types, was studied on the stage of material forming. The optimum amount of modifiers was determined and effectiveness of each of them with the purpose to decrease curing temperature of binder down to 170°C was estimated taking into account the properties of fiberglass plastics. The composition of modifying binder was established, polyimide fiberglass plastic STP-97K was developed and its properties were studied. It was demonstrated that lowering of the curing temperature does not cause a significant change of properties of the material in different operational conditions.*

**Keywords:** polyimide binding materials, modifying components, fiberglass plastics, mechanical, thermophysical, dielectric and other properties.

---

<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**

Для изготовления изделий конструкционного и радиотехнического назначения широко применяются стеклотекстолиты на основе полиэфирных, эпоксидных, фенольных связующих. Однако эти материалы могут длительно эксплуатироваться при температуре не выше 200°C. Для изделий, работающих при температурах 250–350°C, используются стеклотекстолиты на основе кремнийорганических и полиимидных связующих.

Относительно низкая когезионная прочность кремнийорганических смол и недостаточная в ряде случаев межслоевая прочность стеклотекстолитов на их основе, а также высокая температура переработки (250–270°C) ограничивают их использование для изготовления изделий сложной конфигурации, а также изделий с сотовым наполнителем и на основе разреженных тканей.

В последние годы в производстве композиционных материалов и, в первую очередь, стеклотекстолитов все большее использование находят полиимиды благодаря их

способности сохранять на высоком уровне комплекс ценных физико-механических и других свойств в широком диапазоне температур.

Так, стеклотекстолит СТП-97с на основе полиимидного связующего, обладающий высокой термостойкостью и механическими свойствами, огнестоек, практически не выделяет дыма при воздействии пламени, нетоксичен и по этим показателям превосходит все известные полимерные композиционные материалы.

На его основе изготавливают некоторые детали интерьера, бортовые и оконные панели самолета, отсеки двигателей силовых установок, панели воздухозаборника и шумопоглощения, защитные кожухи и экраны двигателей, детали электрораспределительных устройств и т. п. [1–8].

К числу недостатков полиимидного связующего СП-97с относится высокая (350°C) температура его переработки. Из-за отсутствия соответствующего оборудования высокая температура переработки полиимидных стеклотекстолитов препятствует их широкому использованию при изготовлении конструкций, к которым предъявляются повышенные температурные требования. Особенно это касается крупногабаритных конструкций, изготавливаемых, как правило, методами вакуумного или автоклавного формования. Кроме того, особенность формования стеклотекстолитовых деталей определяется реологическими свойствами связующего, а именно – резким падением его вязкости при нагреве до температуры 160°C, что, в свою очередь, требует специальных приемов формования. Конденсационный характер отверждения связующего является причиной выделения значительного количества летучих продуктов, приводящих к повышенной пористости стеклотекстолита [9–13].

В связи с этим разработка слоистых пластиков на основе новых ароматических полимеров является весьма актуальным направлением в создании термостойких материалов. В данной статье приведены результаты работ по созданию материалов, сохраняющих все ценные свойства полиимидного стеклотекстолита СТП-97с, но отверждающихся при температуре не выше 170°C.

### **Материалы и методы**

Стремление снизить температуру отверждения, улучшить технологические свойства, уменьшить пористость полиимидных стеклопластиков без существенного снижения их механической прочности, теплостойкости и огнестойкости стимулировало исследования по модификации полиимидного связующего СП-97с различными мономерными и олигомерными соединениями, содержащими функциональные группы, взаимодействующие с амино- и карбоксигруппами полиимидообразующих компонентов.

Изучен также характер превращений, протекающих в полиимидном связующем, содержащем модифицирующие добавки различной природы, на стадии формования материала. С учетом свойств стеклотекстолитов определены оптимальные количества вводимых в связующее модификаторов, выявлено их влияние на кинетику процесса отверждения полиимида и оценена эффективность каждого из модификаторов для решения задачи снижения температуры отверждения связующего до 170°C.

В результате поисковой работы показана принципиальная возможность снижения температуры переработки полиимидного связующего СП-97с до 170–200°C при сохранении огнестойкости и сохранении на достаточном уровне физико-механических свойств по сравнению со стеклотекстолитом СТП-97с, отверждаемом при 350°C.

В качестве модифицирующих соединений опробованы анилинофенолформальдегидная смола (СФ-340), полидиметил( $\gamma$ -аминопропилэтокси)фенилсилсилазан (МФСН-А), 4,4'-диаминодифенилметан (ДАДФМ).

Проведенные физико-химические исследования (термогравиметрический анализ, ИК спектроскопия и др.), а также результаты предварительного испытания образцов стеклотекстолитов показали, что из всех изученных модификаций связующего СП-97с

наилучшей является композиция с 3% (по массе) продукта МФСН-А, которая и выбрана для дальнейшей паспортизации стеклотекстолита на его основе.

Связующему присвоена марка СП-97К, а стеклотекстолиту – СТП-97К. В качестве армирующего наполнителя использовалась стеклоткань марки Т-10-80 из стекла алюмоборосиликатного состава [14].

В процессе работы проведены исследования процесса отверждения связующего, установлено оптимальное содержание связующего в пропитанной стеклоткани (препреге), связующего – в стеклотекстолите, разработан режим изготовления стеклотекстолита. Методом автоклавного формования изготовлены образцы стеклотекстолита с конечной температурой отверждения 170°C и определены его физико-механические, теплофизические, диэлектрические и другие свойства.

В табл. 1 приведены сравнительные свойства стеклотекстолита СТП-97К на основе модифицированного связующего и стеклотекстолита СТП-97с.

Таблица 1

**Свойства стеклотекстолита СТП-97К в сравнении со стеклотекстолитом СТП-97с**

Стеклотекстолит	Температура формования, °С	Пористость, %	$\sigma_{в.и}$	$\sigma_{в}$	$\sigma_{в.сж}$	E, ГПа
			МПа			
СТП-97с	350	13–15	480	500	350	34,2
СТП-97К	170	4–6	450	490	400	30,0

Анализ сравнительных свойств показывает, что стеклотекстолит СТП-97К на модифицированном связующем при комнатной температуре имеет практически одинаковые прочностные характеристики со стеклотекстолитом СТП-97с.

Одной из важнейших характеристик стеклотекстолитов является зависимость их механических свойств от температуры и продолжительности ее воздействия [15].

В табл. 2 приведены основные механические свойства стеклотекстолита СТП-97К в зависимости от температуры испытания.

Таблица 2

**Механические свойства стеклотекстолита СТП-97К при различных температурах**

Свойства	Значения свойств при температуре испытаний, °С				
	20	250	300	350	400
Предел прочности, МПа:					
при изгибе	450	300	270	160	120
при растяжении	490	440	430	–	–
при сжатии	400	225	180	–	–
Модуль упругости при растяжении, ГПа	30	29	28	–	–

Как видно из данных табл. 2, стеклотекстолит СТП-97К обладает высокой механической прочностью как в исходном состоянии, так и при повышенных температурах.

О длительности эксплуатации материала можно судить по результатам его термостарения при повышенных температурах. В табл. 3 представлены результаты длительного воздействия на стеклотекстолит температур 250–400°C.

**Механические свойства стеклотекстолита СТП-97К после термостарения  
(испытания при температуре старения)**

Продолжительность выдержки, ч	Температура, °С	$\sigma_{в.и}$	$\sigma_{в}$	$\sigma_{в.сж}$	E, ГПа
		МПа			
В исходном состоянии (без выдержки)	250	300	440	225	29
	300	270	430	180	28
100	250	270	380	200	30
	300	290	230	275	29
500	250	250	340	200	30
	300	220	220	255	29
1000	250	230	275	190	29
	300	180	200	250	27
1500	250	275	270	210	29
	300	175	190	220	26
2000	250	260	260	140	30
	300	220	185	130	24
100	350	165	–	–	–
50	400	125	–	–	–

Полученные результаты показали, что стеклотекстолит СТП-97К при длительном воздействии температур 250–400°С сохраняет свои свойства на достаточно высоком уровне.

Так, изгибающее напряжение при разрушении после старения при 250°С в течение 2000 ч остается на уровне 260 МПа, после старения при 300°С в течение 2000 ч – на уровне 165 МПа, а после старения при 400°С в течение 50 ч – на уровне 125 МПа.

Прочность при сжатии после старения в течение 2000 ч при 250 и 300°С сохраняется на уровне 140 и 130 МПа соответственно, а модуль упругости при растяжении изменяется незначительно.

Кратковременные испытания механических свойств стеклотекстолитов не полностью воспроизводят условия эксплуатации этих материалов и изделий из них и поэтому не являются исчерпывающей характеристикой этих материалов. Значительно более полно можно оценить их работоспособность по данным длительной и усталостной прочности.

Длительная прочность стеклотекстолита СТП-97К характеризовала поведение материала в процессе его деформации при наложении длительных однократных статических нагрузок, а усталостная прочность – при наложении многократных циклических нагрузок.

### Результаты

Результаты определения длительной и усталостной прочности стеклотекстолита СТП-97К приведены в табл. 4 и 5.

**Длительная прочность стеклотекстолита СТП-97К**

Вид нагружения	Температура, °С	$\sigma'_t$ , МПа, на базе, ч					
		0,1	1	10	$10^2$	$5 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^3$
Растяжение	20	480	450	430	400	380	365
	250	410	380	350	310	270	220
Изгиб	20	350	330	300	280	260	245
	300	120	110	100	90	80	70

Таблица 5

**Предел выносливости стеклотекстолита СТП-97К**

Вид нагружения	Температура, °С	$\sigma_{-1}$ , МПа, на базе, цикл			
		$10^4$	$10^5$	$10^6$	$10^7$
Растяжение	20	300	240	170	120
	300	200	150	100	70
Изгиб	20	220	180	140	110
	300	180	140	100	60

Как показали результаты испытаний стеклотекстолит СТП-97К сохраняет на достаточно высоком уровне прочность как при длительном, так и при циклическом нагружении.

Стеклотекстолит СТП-97К обладает стабильными диэлектрическими характеристиками. В табл. 6 приведены диэлектрические свойства материала при частоте  $10^{10}$  Гц при комнатной и повышенной температурах, в условиях длительного термостарения при  $300^\circ\text{C}$ , а также после выдержки при повышенной влажности.

Таблица 6

**Диэлектрические свойства стеклотекстолита СТП-97К**

Свойства	Значения свойств									
	при комнатной температуре	после выдержки при $\phi=98\%$ в течение 48 ч	при температуре, °С				после выдержки при $300^\circ\text{C}$ в течение, ч			
			100	300	400	500	100	500	1000	2000
Тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$	0,0081	0,0288	0,0098	0,0092	0,0085	0,0074	0,0053	0,006	0,0074	0,0078
Диэлектрическая проницаемость $\epsilon$	4,57	5,05	4,76	4,50	4,47	4,77	4,22	4,21	4,23	4,17

Стеклотекстолит СТП-97К вплоть до температуры  $500^\circ\text{C}$  сохраняет стабильные диэлектрические показатели, которые незначительно меняются после длительного термостарения при  $300^\circ\text{C}$ . Результаты определения теплофизических свойств приведены в табл. 7.

Таблица 7

**Теплофизические свойства стеклотекстолита СТП-97К**

Температура, °С	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·К)	Коэффициент температуропроводности $\alpha \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /°С	Удельная теплоемкость $c$ , кДж/(кг·К)
50	0,31	0,19	0,94
100	0,31	0,18	0,99
200	0,31	0,17	1,05
300	0,31	0,17	1,05

Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) в интервале температур  $20\text{--}260^\circ\text{C}$  практически не меняется и равен 5,4, а с  $260$  до  $360^\circ\text{C}$  лежит в интервале значений 5,4–2,7.

Определение горючести стеклотекстолита СТП-97К на стандартных образцах толщиной 2,5–3,0 мм показало, что материал относится к классу «трудногорающих». При экспозиции 12, 30 и 60 с стеклотекстолит не горит, не тлеет, а потеря массы при этом не превышает 0,1%. Использование стеклотекстолита СТП-97К в качестве обшивок трехслойных сотовых панелей показало, что он имеет минимальное дымовыделение.

Таким образом, стеклотекстолит СТП-97К на модифицированном полиимидном связующем СП-97К с температурой переработки  $170^\circ\text{C}$  имеет минимальное дымовыде-

ление и превосходит по огнестойкости все известные композиционные материалы, перерабатываемые при температурах до 200°C.

Стеклотекстолит СТП-97К отличается достаточно высокой водостойкостью, а также стойкостью к различным средам, в частности, он обладает низкими бензо-, керасино- и маслопоглощением. Стеклотекстолит устойчив к воздействию микроорганизмов, коррозионно- и радиационностоек [16].

Стеклотекстолит и детали из него могут изготавливаться методами вакуумного или автоклавного формования при температуре 170°C в течение 5 ч. При этом пористость стеклотекстолита составляет ~5%. Материал поддается всем видам механической обработки.

### **Обсуждение и заключения**

В процессе проведенной работы выбран специальный модификатор (отвердитель), который обеспечил снижение температуры формования стеклотекстолита на связующем СП-97с с 350 до 170°C, в результате чего разработаны связующее и стеклотекстолит СТП-97К на его основе. Этот материал представляет несомненный интерес с точки зрения обеспечения пожарной безопасности полетов пассажирских самолетов и вертолетов.

Стеклотекстолит СТП-97К изготавливается из высокотехнологичных, долгоживущих (до 120 сут при 4°C и до 45 сут при 20°C) препрегов, представляющих собой липкую и эластичную стеклоткань, пропитанную связующим СП-97К [17].

В зависимости от марки используемой стеклоткани (Т-10-80, Т-15(П)-76, Т-45(П)-76) и способа изготовления плотность полиимидного стеклотекстолита может меняться в пределах от 1150 до 1800 кг/м<sup>3</sup>.

Разработанный полиимидный стеклотекстолит на связующем СП-97К может эксплуатироваться в интервале температур от -60 до +350°C, в том числе при 300°C в течение 2000 ч, при 350°C в течение 100 ч, и рекомендован для огнестойких деталей конструкционно-радиотехнического назначения (силовые конструкции внутреннего набора, антенные обтекатели, мотогондолы двигателей), а также деталей интерьера, приборных отсеков, шумопоглощающих конструкций и т. п. [18].

Компоненты связующего, препрегов и стеклотекстолита выпускаются серийно, на них имеется вся необходимая документация (ТУ, ПИ).

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Полиимидные композиционные материалы: структура, свойства, технология /Под общ. ред. А.А. Берлина. СПб.: Профессия. 2008. 512 с.
2. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 7–17.
3. Барботько С.Л. Пожаробезопасность авиационных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 431–439.
4. Давыдова И.Ф., Каблов Е.Н., Кавун Н.С. Термостойкие негорючие полиимидные стеклотекстолиты для изделий авиационной и ракетной техники //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2009. №7. С. 2–11.
5. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. СПб.: Профессия. 2006. 256 с.
6. Кондратенко А.Н., Голубкова Т.А. Полимерные композиционные материалы в изделиях зарубежной ракетно-космической техники (обзор) //Конструкции из композиционных материалов. 2009. №2. С. 24–34.
7. Гуляев И.Н., Власенко Ф.С., Зеленина И.В., Раскутин А.Е. Направления развития термостойких углепластиков на основе полиимидных и гетероциклических полимеров //Труды ВИАМ. 2014. №1. Ст. 04 (viam-works.ru).

8. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Чурсова Л.В., Коган Д.И. Новые полимерные связующие для перспективных методов изготовления конструкционных волокнистых ПКМ //Авиационные материалы и технологии. 2011. №2. С. 38–42.
9. Каблов Е.Н. К 80-летию ВИАМ //Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2012. Т. 78. №5. С. 79–81.
10. Светличный В.М., Кудрявцев В.В. Полимеры и проблема создания современных конструкционных материалов //Высокомолекулярные соединения. Сер. Б. 2003. Т. 45. №6. С. 35–39.
11. Давыдова И.Ф., Кавун Н.С. Стеклопластики – многофункциональные композиционные материалы //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 253–260.
12. Давыдова И.Ф., Кавун Н.С. Стеклопластики в конструкциях авиационной и ракетной техники //Стекло и керамика. 2012. №4. С. 1–7.
13. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники //Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
14. Полиимидное связующее для армированных пластиков, препрег на его основе и изделие, выполненное из него: пат. №2394857 Рос. Федерация; опубл. 07.05.2009.
15. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. М. Изд-во «НОТ». 2008. 615 с.
16. Давыдова И.Ф., Кавун Н.С. Исследование стойкости полиимидного стеклотекстолита СТП-97К к агрессивным средам //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2011. №9. С. 42–44.
17. Давыдова И.Ф., Кавун Н.С. Огнестойкие стеклопластики в конструкциях мотогондол двигателей самолетов //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2011. №7. С. 16–20.
18. Вавилова М.И., Кавун Н.С. Свойства и особенности армирующих стеклянных наполнителей, используемых для изготовления конструкционных стеклопластиков //Авиационные материалы и технологии. 2014. №3. С. 33–37.

#### REFERENCES LIST

1. Poliimidnye kompozicionnye materialy: struktura, svojstva, tehnologija [Polyimide composites: Structure, properties and technology] /Pod obshh. red. A.A. Berlina. SPb.: Professija. 2008. 512 s.
2. Kablov E.N. Strategicheskie napravlenija razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda [Strategic directions of development of materials and technologies to process them for the period up to 2030] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №5. S. 7–17.
3. Barbot'ko S.L. Pozharobezopasnost' aviacionnyh materialov [Fire safety of aviation materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №5. S. 431–439.
4. Davydova I.F., Kablov E.N., Kavun N.S. Termoustojkie negorjuchie poliimidnye steklotekstolity dlja izdelij aviacionnoj i raketnoj tehniki [Heat-resistant polyimide incombustible Fiberglass products for the aviation and rocketry] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravochnik. 2009. №7. S. 2–11.
5. Mihajlin Ju.A. Termoustojchivye polimery i polimernye materialy [Thermostable polymers and polymeric materials]. SPb.: Professija. 2006. 256 s.
6. Kondratenko A.N., Golubkova T.A. Polimernye kompozicionnye materialy v izdelijah zarubezhnoj raketno-kosmicheskoj tehniki (obzor) [Polymer composite materials in products abroad rocket and space technology (review)] //Konstrukcii iz kompozicionnyh materialov. 2009. №2. S. 24–34.
7. Guljaev I.N., Vlasenko F.S., Zelenina I.V., Raskutin A.E. Napravlenija razvitija termoustojkih ugleplastikov na osnove poliimidnyh i geterociklicheskih polimerov [Direction of the heat-resistant carbon-fiber-based polyimide and heterocyclic polymers] //Trudy VIAM. 2014. №1. St. 04 (viam-works.ru).
8. Muhametov R.R., Ahmadijeva K.R., Chursova L.V., Kogan D.I. Novye polimernye svjazujushhie dlja perspektivnyh metodov izgotovlenija konstrukcionnyh voloknistyh PCM [New polymeric binders for advanced manufacturing methods of structural fiber PCM] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2011. №2. S. 38–42.
9. Kablov E.N. K 80-letiju VIAM [On the 80th anniversary of VIAM] //Zavodskaja laboratorija. Diagnostika materialov. 2012. T. 78. №5. S. 79–81.
10. Svetlichnyj V.M., Kudrjavcev V.V. Polimery i problema sozdanija sovremennyh konstrukcionnyh materialov [Polymers and the problem of creation of modern construction materials] //Vysokomolekuljarnye soedinenija. Ser. B. 2003. T. 45. №6. S. 35–39.

11. Davydova I.F., Kavun N.S. Stekloplastiki – mnogofunkcional'nye kompozicionnye ma-terialy [GRP – multifunctional composite materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 253–260.
12. Davydova I.F., Kavun N.S. Stekloplastiki v konstrukcijah aviacionnoj i raketnoj tehniki [GRP in the construction of aircraft and missile technology] //Steklo i keramika. 2012. №4. S. 1–7.
13. Kablov E.N. Materialy i himicheskie tehnologii dlja aviacionnoj tehniki [Materials and chemical technologies, aircraft] //Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2012. T. 82. №6. S. 520–530.
14. Poliimidnoe svjazujushhee dlja armirovannyh plastikov, prepreg na ego osnove i izdelie, vypolnenoe iz nego [Polyimide binder for reinforced plastics, the prepreg and it is based on a product made of it]: pat. №2394857 Ros. Federacija; opubl. 07.05.2009.
15. Mihajlin Ju.A. Konstrukcionnye polimernye kompozicionnye materialy [Structural polymer composite materials]. M.: Izd-vo «NOT». 2008. 615 s.
16. Davydova I.F., Kavun N.S. Issledovanie stojkosti poliimidnogo steklotekstolita STP-97K k agresivnym sredam [Investigation of resistance polyimide fiberglass STP-97K to aggressive environments] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. 2011. №9. S. 42–44.
17. Davydova I.F., Kavun N.S. Ognestojkie stekloplastiki v konstrukcijah motogondol dviga-telej samoletov [Fire-resistant fiberglass structures aircraft engine nacelles] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. 2011. №7. S. 16–20.
18. Vavilova M.I., Kavun N.S. Svojstva i osobennosti armirujushhijh stekljannyh napolnitelej, ispol'zuemyh dlja izgotovlenija konstrukcionnyh stekloplastikov [Properties and characteristics of reinforcing glass fillers used for the manufacture of structural fiberglass] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2014. №3. S. 33–37.