



УДК 678.027.96

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-5-8-8

## **УСТРОЙСТВО ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВСПЕНЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Ю.В. Столянков

*кандидат технических наук*

Э.Я. Бейдер

*кандидат технических наук*

М.М. Платонов

*кандидат химических наук*

Г.Н. Петрова

*кандидат технических наук*

**Май 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 678.027.96

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-5-8-8

Ю.В. Столянков<sup>1</sup>, Э.Я. Бейдер<sup>1</sup>, М.М. Платонов<sup>1</sup>, Г.Н. Петрова<sup>1</sup>

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВСПЕНЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Описаны некоторые особенности свойств вспененных полимерных материалов конструкционного назначения на основе полиимидов. Приводится сравнение отечественных вспененных полимерных материалов с зарубежными аналогами в части их применимости для использования в ресурсо- и энергосберегающей технологии формования трехслойных сэндвич-панелей. Описаны существующие способы обработки вспененных полимерных материалов, приводится сравнение со способом, реализованным в предлагаемом устройстве. Приводится описание конструкции устройства, обсуждены его основные преимущества в части обработки таких материалов на данном устройстве.*

**Ключевые слова:** *вспенивание, вспененный материал, ячеистая структура, многослойная панель, механическая обработка.*

*Yu.V. Stolyankov, Ed.Ya. Beider, M.M. Platonov, G.N. Petrova*

## A DEVICE FOR MACHINING OF FOAMED POLYMER MATERIALS

*Some features of foamed polymer materials based on structure-purposed polyimides are considered in the article. Comparison of domestic foamed materials with their foreign analogues is also provided in the article to illustrate the possibility of their usage in the resource- and energy saving technology for production of three-layer sandwich panels. Existing processes for machining of the foamed material materials are described in the article in comparison with the offered device. Description of its structure and main advantages at machining of foamed polymers is given as well.*

**Keywords:** *foaming, foamed material, cell structure, multilayer structure, machining.*

---

<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

Создание материалов, способных интегрироваться в структуру и становиться неотъемлемой частью конструктивных элементов современных и перспективных изделий промышленного производства, является в настоящее время актуальной задачей, успешное решение которой и определит уровень материального производства [1–5].

Под вспениванием материала понимается формирование замкнуто-пористой ячеистой структуры материала с заполнением воздухом или каким-либо другим газообразным веществом. Таким образом формируются пены, характерной чертой которых является замкнуто-пористая ячеистая структура. Ячеистая структура образуется из-за выделения газообразных продуктов вследствие физико-химических процессов при вза-

имодействии или испарении (процессы десорбции) компонентов формирующегося пеноматериала. Свойства пен зависят от размеров элементарных ячеек, их формы и распределения. Этим определяется, прежде всего, плотность материала. Плотность может варьироваться в широких пределах, определяя наименование и сферу применения материала: от сверхлегких ( $3\text{--}10 \text{ кг/м}^3$ ) до супертяжелых (от  $500 \text{ кг/м}^3$  и выше) [6]. При этом чем ниже плотность, тем ниже прочность. При определенном уровне плотности материал переходит из разряда конструкционных в разряд функциональных, например материал для гашения вибрации, шумопоглощения, теплоизоляции и др.

К разряду вспененных полимерных материалов относятся и пенополиимиды, которые обладают уникальным сочетанием свойств: имеют широкий диапазон рабочих температур, пожаробезопасны, инертны в коррозионном отношении, грибостойки, устойчивы к радиационному воздействию и ультрафиолетовому излучению, обладают высокими диэлектрическими характеристиками. Работы с пеноматериалами на основе полиимидов начались более полувека назад и в настоящее время они нашли широкое применение в авиационной, космической и атомной промышленности. Лидером производства полиимидных пеноматериалов конструкционного назначения является компания Evonic (Германия), которая под торговой маркой Rohacell выпускает следующие полиимидные пены: Rohacell WF, Rohacell WF-НТ и др. Такие материалы характеризуются высокими значениями компрессионной ползучести при стабильности геометрической формы. Это позволяет изготавливать на их основе силовые стрингер-профили несущих конструкций сложной формы длиной до 2,5 м. Заполнение полиимидным пеноматериалом тонкостенного профиля из двухслойного углепластика или стеклопластика позволяет повысить его жесткость и сопротивляемость осевой нагрузке [7]. Выполненная по технологии внутриполостного прессования лопасть вертолета с использованием полиимидного пеноматериала в качестве материала сердцевины в 5 раз дешевле аналогичной лопасти, изготовленной с использованием сотового наполнителя и имеет эксплуатационный ресурс, превосходящий ресурс аналога в 7 раз [8]. Отечественный материал-аналог марки ВПП-5 по прочностным свойствам (пределам прочности при растяжении и при сжатии) не уступает зарубежному марки Rohacell и может быть применен в качестве легкого наполнителя в составе трехслойных панелей сложной конфигурации конструкционного назначения [9, 10].

Использование полиимидных пенопластов в составе многослойных сэндвич-конструкций позволяет значительно снизить трудоемкость изготовления, а значит – и стоимость деталей. К основным требованиям, предъявляемым к наполнителю такого

рода, относится уровень прочности материала на сдвиг и сжатие. Для формирования трехслойной панели необходимо создать в ее внутренней полости избыточное внутриполостное давление, достаточное для формирования монолитного пластика обшивки. При этом сердцевина должна превосходить по размеру полость пресс-формы. При смыкании частей пресс-формы во внутренней ее полости создается начальное избыточное давление. Нагрев пакета до 70°C приводит к повышению внутриполостного давления, которое затем в процессе деформации уплотнения несколько снижается. Причем повышение давления газа, заключенного в пределах элементов ячеистой структуры, не должно приводить к разрыву стенок элементов ячеистой структуры. В этот момент повышение температуры до 90°C приводит к термическому расширению материала сердцевины, что и компенсирует деформационный эффект. Аналогичные процессы происходят при дальнейшем повышении температуры до 125°C. В результате описанных выше процессов внутриполостное давление достигает уровня 0,5–0,7 МПа [11–13]. Температура, при которой достигается максимальное значение внутриполостного давления, совмещенная с температурой гелеобразования связующего в препреге [14] обшивки, приводит к образованию монолитного материала сэндвич-панели.

Однако для осуществления описанной выше технологии необходимо произвести обработку заготовки вспененного материала с целью придания ей необходимой формы при требуемой точности обработки, а также для удаления «корки» – гладкого полиимидного слоя с закрытой пористостью. Такой слой препятствует достижению необходимого уровня адгезионной прочности сцепления слоев при формировании трехслойной панели. Для решения подобного рода технологической задачи, в особенности при обработке многослойной конструкции, облицованной листами обшивки, можно использовать традиционные методы механической обработки, такие, например, как фрезерование, точение, шлифование, резка абразивным отрезным инструментом. При выборе метода механической обработки следует обращать внимание на количество дефектов, образующихся в процессе обработки [15], так как от этого в конечном итоге зависит уровень прочностных характеристик материала. Подобие вспененного материала материалу древесины несколько упрощает задачу. Однако специфика свойств вспененных материалов позволяет, в отличие от древесины, использовать резку нагретой проволокой, резку с использованием лазера, а также гидроабразивную резку. Последний способ связан с загрязнением обрабатываемого материала частицами абразива и насыщением материала влагой, что ограничивает его использование для вспененных полимерных материалов. По этой причине из всех перечисленных методов обработка резанием на фрезерном станке является наиболее подходящим методом. С ее помощью можно обеспечить необходимый уровень шероховатости поверхности при соблюдении

требований по точности обработки детали. Сложность заключается в том, что для обработки крупногабаритных деталей необходимо применение высокоскоростных фрезерных станков с большой зоной обработки, что приводит к значительному удорожанию деталей.

### Материалы и методы

Еще одним вариантом механической обработки вспененных полимерных материалов различной плотности является разработанное во ФГУП «ВИАМ» специальное устройство [16]. Оно позволяет формировать равнотолщинные слои материала крупногабаритных заготовок большой площади (например, прямоугольной формы размером 500×1000 мм) с точностью, определяемой характерным размером элементарной ячейки вспененного материала, с заданной производительностью при повышенном коэффициенте использования материала (рис. 1). Снижение количества отходов (стружки), неблагоприятного воздействия на окружающую среду, исключение образования токсичных газообразных продуктов термической деструкции полимеров в процессе обработки, а также низкий уровень шума при работе – все это в совокупности позволяет говорить о преимуществах данного метода в сравнении с аналогами. С помощью данного устройства производят удаление «корки» с поверхности вспененного материала, причем толщина снимаемого слоя не превышает размера элементарной ячейки материала (рис. 2). На данном оборудовании также предусмотрена возможность нарезки материала на слои различной толщины, что позволяет применять его в том числе и для изготовления образцов для испытаний материала (рис. 3).

Устройство для механической обработки вспененных полимерных материалов (см. рис. 1, *a*) состоит из рамы и держателя в котором закреплен нож для обработки материала. На раме посредством двух роликовых опор установлена каретка, которая снабжена двумя ходовыми винтами, кинематически связанными с соответствующим держателем, снабженным направляющими перемещения ножа. В раме устройства выполнены ячейки для обрабатываемого материала.



Рис. 1. Общий вид устройства (*a*) и держатель ножа (*б*) устройства для механической обработки вспененных полимерных материалов

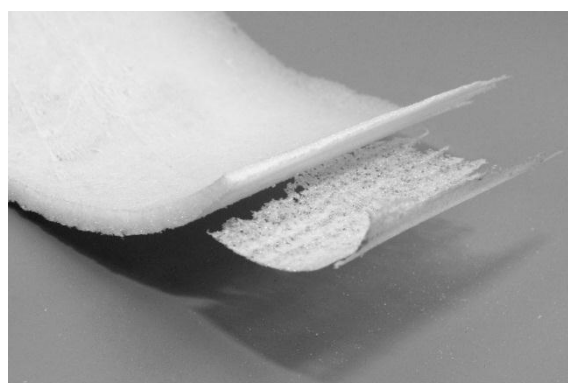
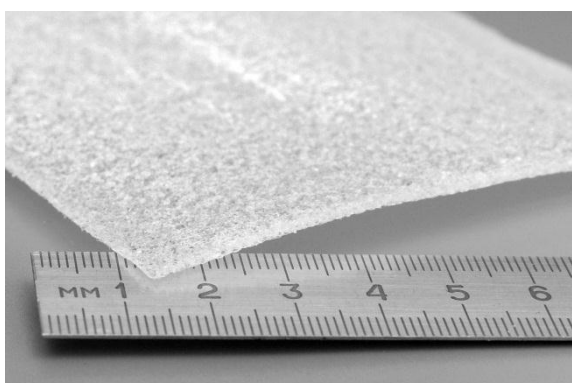


Рис. 2. Снятая «корка» со вспененного полимерного материала



Рис. 3. Изготовление образцов из вспененных полимерных материалов

Каретка может быть снабжена приводом, в том числе электромеханическим. Позиционирование ножа осуществляется посредством регулирования положения держателя с ножом по отношению к обрабатываемому материалу вручную или при помощи, например, электромеханического привода, и предусматривает установку держателя под определенным углом ( $\alpha$ ) с углами наклона ( $\beta$ ) и поворота ножа ( $\gamma$ ) – рис. 4. Роликовая опора снабжена регулируемым ограничителем, в составе которого применен регулировочный ролик, с его помощью устанавливается зазор между поверхностью рамы и ходовыми роликами. Зазор должен быть минимальным, обеспечивая одновременно свободное перемещение роликов. Держатель ножа имеет возможность возвратно-поступательного перемещения. В случае применения электромеханического привода для возвратно-поступательного перемещения держателя ножа рабочее движение режущего инструмента, т. е. ножа, осуществляется посредством кривошипно-шатунного механизма. Ходовой винт также может быть оснащен приводом, в том числе электромеханическим. Вращением ходовых винтов, которых в предлагаемом устройстве два, осуществляется регулировка, в том числе прецизионная, положения держателей ножа по вертикали, что позволяет получать на выходе детали переменной толщины. Рама

опирается на основание посредством четырех кронштейнов, которые позволяют регулировать ее положение в горизонтальной плоскости. Данным видом регулирования задают требуемый (в зависимости от свойств обрабатываемого материала) угол наклона рамы, что, в свою очередь, создает необходимое усилие, с которым режущая кромка ножа воздействует на обрабатываемый материал, расположенный в ячейке. В случае установки в держатель двух или более ножей устройство позволяет формировать два и более равнотолщинных слоя обрабатываемого материала, которые могут быть использованы, например, в качестве компонентов слоистого композиционного материала.

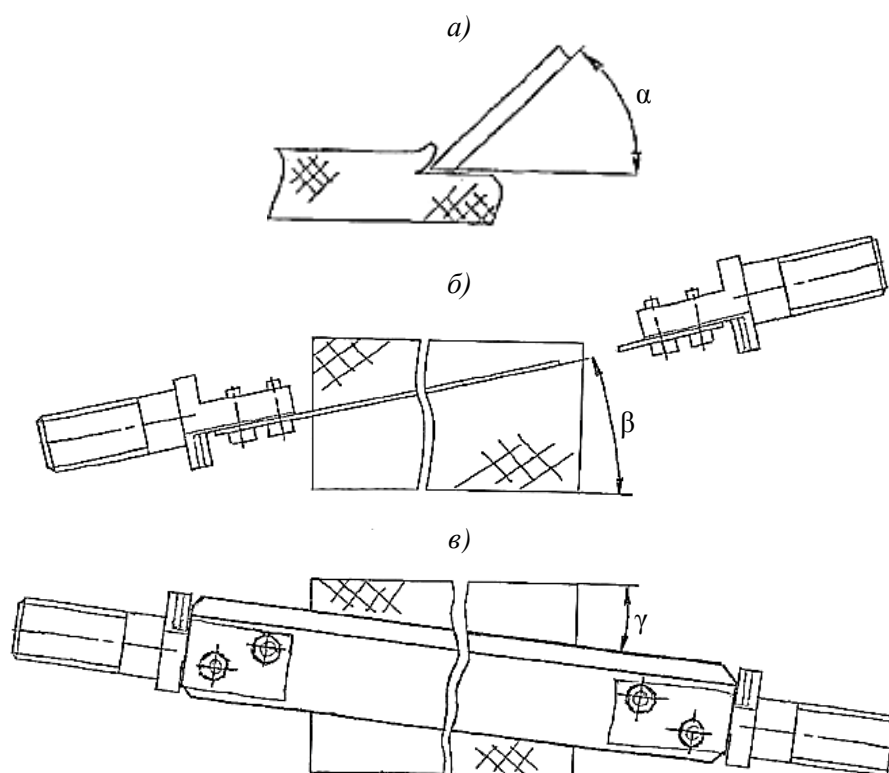


Рис. 4. Углы установки ножа

В устройстве режущий инструмент в виде ножа изготавливается с заточкой зубьев относительно вектора возвратно-поступательного перемещения ножа предпочтительно в пределах 75–90 град, совершает возвратно-поступательные движения, причем упомянутый вектор может быть повернут на угол предпочтительно от 0 до 25 град относительно торца обрабатываемого материала. Режущий инструмент должен иметь зубья, у которых шаг, профиль и глубина нарезки обеспечивают механическую обработку вспененного полимерного материала различной плотности с образованием поверхности, шероховатость которой удовлетворяет требованиям для выполнения последующих технологических операций (например, склейки или пайки деталей из вспенен-

ных полимерных материалов), а также обеспечивает точность обработки и форму изготавливаемых из пористых полимерных материалов деталей. Профиль, заточка зубьев, их шаг и глубина нарезки, варьируются в зависимости от свойств обрабатываемого материала. Отличительной особенностью устройства является возможность обработки поверхностей крупногабаритных заготовок, в том числе с технологическим облоем (коркой), сравнительно большой площади, с обеспечением заданной точности обработки, сравнимой с характерным размером ячейки вспененного полимерного материала. В случае обработки поверхностей крупногабаритных заготовок из вспененных полимерных материалов (для обеспечения точности обработки) предпочтительно использование ножа с продольно-поперечными ребрами жесткости, располагающимися, например, с шагом 25–50 мм. Упомянутые выше электромеханические приводы могут быть объединены в единую систему автоматизированного управления с пультом управления. Конструкция устройства допускает его масштабирование и обеспечивает простоту изготовления с использованием традиционных методов обработки конструкционных металлических материалов отечественного производства с привлечением рабочего персонала средней квалификации (4–5 разряда). Устройство отличается малой массой, которая может быть дополнительно снижена путем применения в его конструкции деталей из полимерных материалов.

### **Результаты и заключения**

В специальном разработанном устройстве используется способ механической обработки вспененных полимерных материалов конструкционного назначения, который является составной частью реализации ресурсо- и энергосберегающих технологий производства многослойных панелей в составе выпускаемых и перспективных изделий автомобильной, авиационной и других отраслей промышленного производства. Устройство может найти применение также в строительной и деревообрабатывающей отраслях, может быть использовано для производства изделий медицинского назначения. Описанное устройство превосходит по комплексу конструктивных признаков и функциональности разработки ведущих фирм-изготовителей аналогичного оборудования, а также позволяет производить механическую обработку вспененных полимерных материалов с требуемыми габаритными размерами и необходимым уровнем шероховатости поверхности при высоком выходе годного материала. Использование устройства не приводит к загрязнению окружающей среды.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2013 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7–17.
2. Каблов Е.Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России //Металлы Евразии. 2012. №3. С. 10–15.
3. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
4. Каблов Е.Н. Разработки ВИАМ для газотурбинных двигателей и установок //Крылья Родины. 2010. №4. С. 31–33.
5. Kablov E.N., Solntsev S.S., Rozenenkova V.A., Mironova N.A. Composite glass-metal coatings for protecting beryllium at high temperatures //Glass and Ceramics. 2012. P. 1–4.
6. Физические и химические процессы при переработке полимеров. СПб: Научные основы и технологии. 2013. 314 с.
7. Бейдер Э.Я., Петрова Г.Н., Изотова Т.Ф., Барботько С.Л. Стеклопластики на термопластичной матрице //Труды ВИАМ. 2013. №7. Ст. 03 (viam-works.ru).
8. Дорошенко Н.И., Чурсова Л.В. Эволюция материалов для лопастей вертолетов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №2. С. 16–18.
9. Бейдер Э.Я., Гуреева Е.В., Петрова Г.Н. Пенополиимиды //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №6. С. 2–8.
10. Бейдер Э.Я., Петрова Г.Н., Изотова Т.Ф., Гуреева Е.В. Композиционные термопластичные материалы и пенополиимиды //Труды ВИАМ. 2013. №11. Ст. 01 (viam-works.ru).
11. Бейдер Э.Я., Петрова Г.Н., Малышенко С.В. Композиционные термопластичные материалы – свойства и способы переработки //Пластические массы. 2013. №7. С. 56–60.
12. Петрова Г.Н., Бейдер Э.Я., Изотова Т.Ф., Малышенко С.В. Композиционные термопластичные материалы – способы получения и переработки //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2013. №10. С. 10–17.
13. Петрова Г.Н., Румянцева Т.В., Бейдер Э.Я. Влияние модифицирующих добавок на пожаробезопасные свойства и технологичность поликарбоната //Труды ВИАМ. 2013. №6. Ст. 06 (viam-works.ru).
14. Антифеева Н.В., Алексашин В.М., Столянков Ю.В. Современное методическое обеспечение термоаналитических исследований полимерных композитов и препергов //Композиты и наноструктуры. 2014. Т. 6. №3. С. 176–184.
15. Столянков Ю.В., Исходжанова И.В., Антифеева Н.В. К вопросу о дефектах образцов для испытаний углепластиков //Труды ВИАМ. 2014. №10. Ст. 10 (viam-works.ru).
16. Устройство для механической обработки вспененных полимерных материалов: пат. №145916 Рос. Федерация; опубл. 27.09.2014.

#### REFERENSES LIST

1. Kablov E.N. Strategicheskie napravlenija razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2013 goda [The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2013] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 7–17.
2. Kablov E.N. Sovremennye materialy – osnova innovacionnoj modernizacii Rossii [Modern materials – basis of innovative modernization of Russia] //Metally Evrazii. 2012. №3. S. 10–15.
3. Kablov E.N. Himija v aviacionnom materialovedenii [Chemistry in aviation materials science] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 3–4.
4. Kablov E.N. Razrabotki VIAM dlja gazoturbinyh dvigatelej i ustanovok [Development of VIAM for gas turbine engines and installations] //Kryl'ja Rodiny. 2010. №4. S. 31–33.
5. Kablov E.N., Solntsev S.S., Rozenenkova V.A., Mironova N.A. Composite glass-metal coatings for protecting beryllium at high temperatures //Glass and Ceramics. 2012. P. 1–4.
6. Fizicheskie i himicheskie processy pri pererabotke polimerov [Physical and chemical processes when processing polymers]. SPb: Nauchnye osnovy i tehnologii. 2013. 314 s.
7. Bejder Je.Ja., Petrova G.N., Izotova T.F., Barbot'ko S.L. Stekloplastiki na termoplastichnoj matrice [Fibreglasses on thermoflexible matrix] //Trudy VIAM. 2013. №7. St. 03 (viam-works.ru).
8. Doroshenko N.I., Chursova L.V. Jevoljucija materialov dlja lopastej vertoletov [Evolution of materials for blades of helicopters] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №2. S. 16–18.
9. Bejder Je.Ja., Gureeva E.V., Petrova G.N. Penopoliimidy [Penopoliimida] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravochnik. 2012. №6. S. 2–8.
10. Bejder Je.Ja., Petrova G.N., Izotova T.F., Gureeva E.V. Kompozicionnye termoplastichnye materialy i penopoliimidy [Composite thermoflexible materials and penopoliimidy] //Trudy VIAM. 2013. №11. St. 01 (viam-works.ru).
11. Bejder Je.Ja., Petrova G.N., Malysheok S.V. Kompozicionnye termoplastichnye materialy – svoystva i sposoby pererabotki [Composite thermoflexible materials – properties and ways of processing] //Plasticheskie massy. 2013. №7. S. 56–60.
12. Petrova G.N., Bejder Je.Ja., Izotova T.F., Malysheok S.V. Kompozicionnye termoplastichnye materialy – sposoby poluchenija i pererabotki [Composite thermoflexible materials – ways of receiving and processing] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravochnik. 2013. №10. S. 10–17.
13. Petrova G.N., Rumjanceva T.V., Bejder Je.Ja. Vlijanie modificirujushhih dobavok na pozharobezopasnye svoystva i tehnologichnost' polikarbonata [Influence of modifying additives on fireproof properties and technological effectiveness of polycarbonate] //Trudy VIAM. 2013. №6. St. 06 (viam-works.ru).
14. Antjufeeva N.V., Aleksashin V.M., Stoljankov Ju.V. Sovremennoe metodicheskoe obespechenie termoanaliticheskikh issledovanij polimernyh kompozitov i prepergov [Modern methodical ensuring thermoanalytical researches of polymeric composites and prepergov] //Kompozity i nanostruktury. 2014. T. 6. №3. S. 176–184.

15. Stoljankov Ju.V., Ishodzhanova I.V., Antjufeeva N.V. K voprosu o defektah obrazcov dlja ispytanij ugleplastikov [To question of defects of test pieces ugleplastikov] //Trudy VIAM. 2014. №10. St. 10 (viam-works.ru).
16. Ustrojstvo dlja mehanicheskoy obrabotki vspenennyh polimernyh materialovm [The device for machining of frothed polymeric materials]: pat. №145916 Ros. Federacija; opubl. 27.09.2014.