



УДК 678.747.2

doi: 10.18577/2307-6046-2015-0-11-6-6

**КОНСТРУКЦИОННЫЙ УГЛЕПЛАСТИК ВКУ-25  
НА ОСНОВЕ ОДНОНАПРАВЛЕННОГО ПРЕПРЕГА**

*А.А. Платонов*

*М.И. Душин*

*кандидат технических наук*

**Ноябрь 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.

## КОНСТРУКЦИОННЫЙ УГЛЕПЛАСТИК ВКУ-25 НА ОСНОВЕ ОДНОНАПРАВЛЕННОГО ПРЕПРЕГА

doi: 10.18577/2307-6046-2015-0-11-6-6

*Приведены результаты работ, выполненных в ВИАМ, по разработке высокопрочного полимерного композиционного материала нового поколения на основе углеродного жгутового наполнителя и расплавленного эпоксидного связующего. Представлены сравнительные упруго-прочностные характеристики полученного углепластика. Полученные результаты показывают, что разработанный углепластик ВКУ-25 не уступает по упруго-прочностным свойствам своим импортным аналогам.*

**Ключевые слова:** композиционный материал, углепластик, однонаправленный препрег, автоматизированная выкладка препрега.

A.A. Platonov, M.I. Dyshin

### Carbon composites VKU-25 based on unidirectional prepregs

*The results of works on development of high-strength polymer composite material of new generation on the basis of a carbon UD fiber and hotmelt resin fulfilled at VIAM are represented in article. Comparative elastic and strength characteristics of the cured composite are submitted. The received results show that the developed carbon composite VKU-25 is not inferior import analogs on its elastic and strength properties.*

**Keywords:** the composite material, carbon fiber, unidirectional prepreg, prepreg lay-automatic.

---

<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

Несмотря на то, что использование полимерных композиционных материалов (ПКМ) в авиационной технике занимает в настоящее время относительно малую долю от их общего объема потребления, композиционные материалы находят наиболее специфическое и эффективное применение именно в этой области. В авиационной технике требования к свойствам материалов обычно выше, чем в других областях применения, это относится к таким важным характеристикам, как малая масса, высокие прочность и жесткость и хорошая стойкость к усталостным напряжениям. Композиты, особенно с высокими эксплуатационными характеристиками, являются единственными существующими в настоящее время материалами, отвечающими данным требованиям. Использование композитов в конструкциях летательных аппаратов позволяет добиться существенных результатов в снижении массы, увеличении надежности и ресурса [1, 2]. Объем их применения в современной авиационной технике постоянно возрастает, и если 30 лет назад на них приходилось всего 5% от массы авиационного планера, то в настоящее время объем применения композитов достигает 50% от массы авиационного планера, обеспечивая ее снижение на 20–25% [3, 4].

Наибольшее распространение при производстве силовых конструкций летательных аппаратов получили углепластики на основе эпоксидных связующих. Препреги (полуфабрикаты) углепластиков традиционно получали с применением растворной

технологии, т. е. использовали полимерные связующие с высоким содержанием растворителя, как правило – спирто-ацетоновой смеси. Растворная технология имеет следующие недостатки: в препрегах имеется значительное количество летучих, которые необходимо удалять при формовании, отклонение содержания связующего в препрегах находится в пределах  $\pm 4\%$ , значительное количество растворителя необходимо улавливать специальными очистными сооружениями [5, 6]. При переходе на расплавные связующие все вышеперечисленные недостатки исчезают, при использовании расплавов связующих избавляются от растворителей, нанос связующего регулируется зазорами между валами технологического оборудования для изготовления препрегов, что приводит к снижению разброса по содержанию связующего в пределах  $\pm 2\%$  [7, 8].

При изготовлении наиболее ответственных высоконагруженных композитных конструкций авиационной техники используются углепластики на основе однонаправленных жгутов [9, 10]. Такие углепластики обладают высокой прочностью и жесткостью, а их использование позволяет при проектировании конструкции заложить заданное количество волокон в нужном направлении, тем самым обеспечивая необходимую заданную прочность и жесткость в различных направлениях приложения нагрузки [11, 12].

В свою очередь, использование однонаправленных препрегов при изготовлении изделий дает возможность применять автоматизированные технологии выкладки (AFP и ATL). Использование таких автоматизированных технологий выкладки препрегов позволяет получить ряд преимуществ по сравнению с традиционной ручной выкладкой, а именно: более высокие производительность и качество структуры композита благодаря более качественной и плотной укладке препрега, снижение трудоемкости процесса выкладки препрега и сокращение времени производства, а также точность и стабильность процесса выкладки заготовок [13, 14].

В данной работе исследованы основные упруго-прочностные характеристики углепластика ВКУ-25, разработанного в ВИАМ в рамках федеральной целевой программы в соответствии с техническими требованиями, предъявляемыми авиационными конструкторскими бюро [15].

### Материалы и методы

Углепластик марки ВКУ-25 изготавливают методом автоклавного формования из препрега на основе эпоксидного связующего ВСЭ-1212, разработанного в ВИАМ, и углеродных нитей марки HTS-45 12k E23 фирмы Toho Tenax (рис. 1).

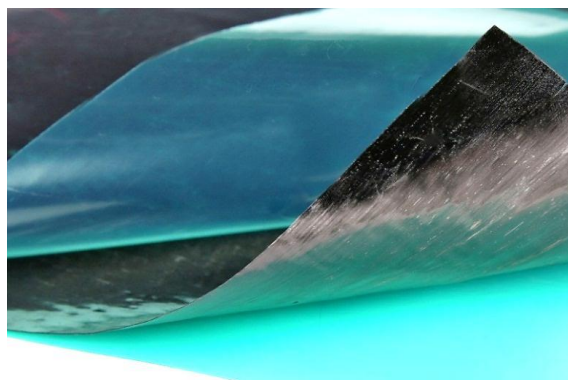


Рис. 1. Внешний вид препрега марки ВКУ-25

Препрег углепластика ВКУ-25 получен по расплавной технологии методом пропитки на специализированном участке изготовления препрегов ВИАМ. Нарботка препрега осуществлена на пропиточной установке Coateama BL-2800.

При исследовании упруго-прочностных характеристик применяли следующие стандарты: определение предела прочности и модуля упругости при растяжении по ASTM D 3039/D 3039M; определение предела прочности и модуля упругости при сжатии по ASTM 6641/D 6641; определение предела прочности при изгибе по

ASTM D 7264/D 7264M; определение предела прочности при межслойном сдвиге (метод короткой балки) по ASTM D 2344/D 2344M.

Насыщение образцов в различных агрессивных жидкостях и средах проводили согласно ГОСТ 12020–72.

Испытания образцов проводили на испытательных машинах W+b LFM 250 (Швейцария), Zwick Roell Z-100 и Z-400 (Германия).

### Результаты

При проведении научно-исследовательской работы по паспортизации углепластика ВКУ-25 определены его физические и упруго-прочностные характеристики. По результатам проведенных испытаний на углепластик марки ВКУ-25 выпущен паспорт №1846.

При проведении испытаний углепластика ВКУ-25 получены свойства, не уступающие свойствам соответствующих зарубежных аналогов (см. таблицу).

**Сравнительные характеристики однонаправленных углепластиков**

Свойства	Направление приложения нагрузки	Значения свойств для углепластика		
		КМУ-15тл	Сусом 985-37%-AS4	ВКУ-25
Предел прочности при растяжении при 20°C, МПа	0°	1370	1980	2180
	90°	–	40	50
Модуль упругости при растяжении при 20°C, ГПа	0°	120	130	135
	90°	–	8,3	8,4
Предел прочности при сжатии при 20°C, МПа	0°	840	1240	1190
	90°	–	–	–
Модуль упругости при сжатии при 20°C, ГПа	0°	–	120	115
	90°	–	–	–
Максимальная рабочая температура, °C	–	80	120	120

Если сравнивать упруго-прочностные характеристики углепластика ВКУ-25 с его ближайшими аналогами – отечественным углепластиком КМУ-15тл на основе однонаправленной углеродной ленты УОЛ-300-1А и зарубежным углепластиком Сусом 985-37%-AS4 на основе углеродных жгутов AS4 – то можно видеть, что углепластик ВКУ-25 имеет значительное преимущество по прочности при растяжении и сжатии, более высокий модуль упругости при растяжении и более высокую максимальную рабочую температуру, чем углепластик КМУ-15тл. В сравнении с зарубежным углепластиком Сусом 985-37%-AS4 характеристики разработанного углепластика ВКУ-25 находятся приблизительно на одном уровне, имея превосходство в прочности 10% при растяжении в направлении приложения нагрузки 0° и 90°.

Препрег углепластика ВКУ-25 выпускается двух типов – с поверхностной плотностью 206 и 308 г/м<sup>2</sup>. Пластики, полученные на их основе, имеют толщину монослоя 0,131±0,007 и 0,215±0,025 мм соответственно.

Проведенные в ходе паспортизации испытания показали высокий уровень сохранения прочностных свойств углепластика ВКУ-25 после теплового старения материала при 120°C в течение 2000 ч (рис. 2). Видно, что пределы прочности при изгибе и сдвиге остаются почти на уровне исходных значений даже после термостарения материала в течение 2000 ч.

Сохранение прочностных свойств при изгибе и сдвиге после ускоренного старения (в течение 3 мес при температуре 60°C и влажности 85%), 3 мес экспозиции в камере тропического климата, а также воздействия нижнего значения температуры среды при эксплуатации (при температуре: 65°C в течение 3 мес) подтверждает высокую стойкость углепластика ВКУ-25 к эксплуатационным факторам (рис. 3).

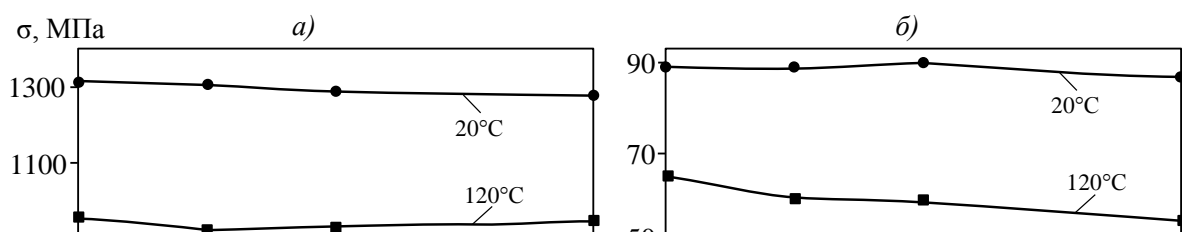


Рис. 2. Пределы прочности при изгибе (а) и сдвиге (б) углепластика ВКУ-25 после теплового старения

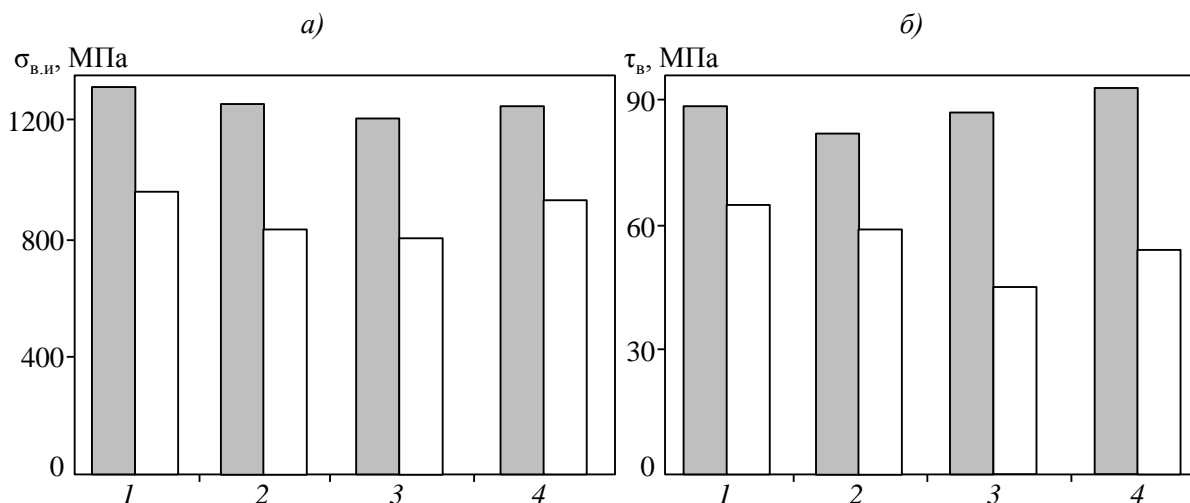


Рис. 3. Пределы прочности при изгибе (а) и сдвиге (б) углепластика ВКУ-25 при температуре испытания 20 (■) и 120°C (□) после 3 мес экспозиции:

1 – в исходном состоянии; 2 – при температуре 120°C; 3 – в камере тропического климата; 4 – при температуре -65°C

Прочностные характеристики при изгибе и сдвиге после экспозиции в воде, во влажной среде, топливе ТС-1, масле ИПМ-10, гидравлической жидкости НГЖ-5У в течение 3 мес представлены на рис. 4.

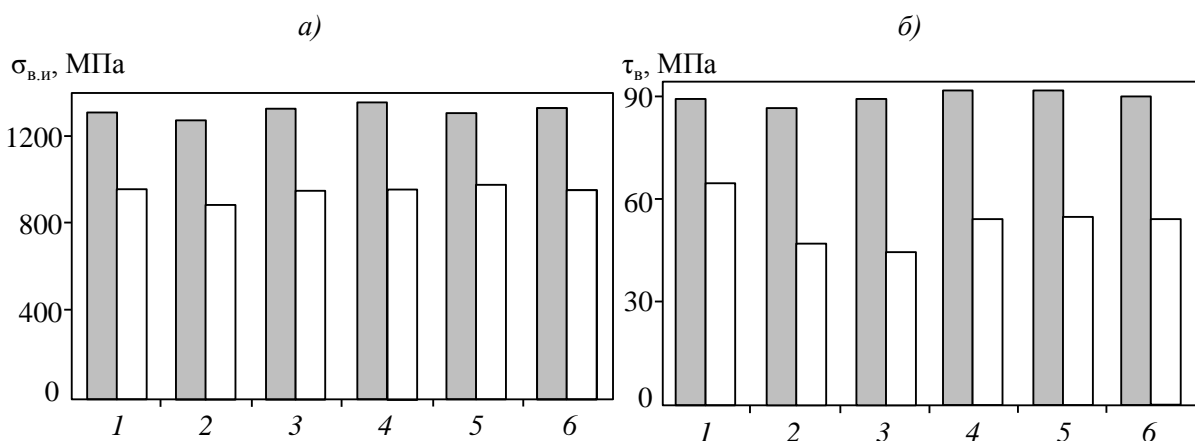


Рис. 4. Пределы прочности при изгибе (а) и сдвиге (б) углепластика ВКУ-25 при температуре испытания 20 (■) и 120°C (□) после 3 мес экспозиции:

1 – в исходном состоянии; 2 – в воде; 3 – во влаге; 4 – в топливе; 5 – в масле; 6 – в гидравлической жидкости

Углепластик марки ВКУ-25 рекомендован для применения в деталях и конструкциях авиационной техники, эксплуатирующихся при температурах в диапазоне от -60 до +120°С, так как испытания показали, что в этом температурном интервале происходят изменения характеристик углепластика. Сохранение прочностных характеристик при повышенной температуре испытания составляет не менее 60% при различных видах нагружения.

### Обсуждение и заключения

При проведении работы разработан новый высокотехнологичный полуфабрикат (препрег) полимерного композиционного материала на основе высокодеформативного эпоксидного связующего и армирующего наполнителя в виде углеродной нити, позволяющий получать ПКМ, не уступающий по характеристикам зарубежным аналогам. Все проведенные исследования свидетельствуют о высоком качестве полуфабриката. Разработанная технология внедрена на производстве в ВИАМ.

Углепластик ВКУ-25 прошел полный цикл испытаний в соответствии с программой паспортизации авиационных материалов, в ходе которых определены основные упруго-прочностные характеристики, стойкость к воздействию агрессивных сред, специальных жидкостей, масел и топлив, стойкость к долговременному воздействию природных климатических условий в различных климатических зонах, испытания на термовлажностное старение и долговременную тепловую прочность. В результате проведенных испытаний установлено, что разработанный углепластик имеет высокий уровень сохранения упруго-прочностных свойств (>60%) после воздействия различных факторов, что подтверждает возможность их применения в деталях авиационной техники во всеклиматических условиях.

В настоящее время углепластик ВКУ-25 на основе однонаправленного препрега проходит квалификационные испытания и опробование на производственных предприятиях с целью его дальнейшего применения в изделиях авиационной техники, из этого материала планируется изготавливать элементы конструкции мотогондолы двигателя ПД-14 для самолета МС-21. Работы проводятся совместно с ОАО «Авиадвигатель».

### ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» //Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33.
2. Хрульков А.В., Душин М.И., Попов Ю.О., Коган Д.И. Исследования и разработка автоклавных и безавтоклавных технологий формования ПКМ //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 292–301.
3. Гращенко Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 231–242.
4. Гришина О.И., Кочетов В.Н., Шавнев А.А., Серпова В.М. Аспекты применения высокопрочных и высокомодульных волокнистых металлических композиционных материалов авиационного назначения (обзор) //Труды ВИАМ. 2014. №10. Ст.05 (viam-works.ru).
5. Тимошков П.Н., Хрульков А.В. Современные технологии переработки полимерных композиционных материалов, получаемых методом пропитки расплавленным связующим //Труды ВИАМ. 2014. №8. Ст.04 (viam-works.ru).
6. Дементьева Л.А., Сереженков А.А., Лукина Н.Ф., Куцевич К.Е. Свойства и назначение композиционных материалов на основе клеевых препрегов //Труды ВИАМ. 2014. №8. Ст.06 (viam-works.ru).
7. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Ким М.А., Бабин А.Н. Расплавные связующие для перспективных методов изготовления ПКМ нового поколения //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 260–265.

8. Душин М.И., Хрульков А.В., Раскутин А.Е. К вопросу удаления излишков связующего при автоклавном формовании изделий из полимерных композиционных материалов //Труды ВИАМ. 2013. №1. Ст. 03 (viam-works.ru).
9. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники //Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
10. Способ получения изделия из композиционного материала: пат. 2448808 Рос. Федерация; опубл. 05.10.2010.
11. Постнов В.И., Петухов В.И., Казаков И.А., Абрамов П.А., Постнов А.В., Сенаторова О.Г., Железина Г.Ф. Изготовление из МПКМ конструктивных элементов планера самолета и особенности их формообразования //Авиационные материалы и технологии. 2009. №3. С. 10–19.
12. Душин М.И., Хрульков А.В., Мухаметов Р.Р. Выбор технологических параметров автоклавного формования деталей из полимерных композиционных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2011. №3. С. 20–26.
13. Раскутин А.Е. Конструкционные углепластики на основе новых связующих расплавленного типа и тканей PORCHER //Новости материаловедения. Наука и техника. 2013. №5. Ст. 01 (materialsnews.ru).
14. Каблов Е.Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России //Металлы Евразии. 2012. №3. С. 10–15.
15. Каблов Е.Н. Материалы и технологии ВИАМ в конструкциях перспективных двигателей разработки ОАО «Авиадвигатель» //ИБ «Пермские авиационные двигатели». 2014. №31. С. 43–47.

#### REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Innovacionnye razrabotki FGUP «VIAM» GNC RF po realizacii «Strategicheskikh napravlenij razvitiya materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda» [Innovative development of FSUE «VIAM» SSC of RF on realization of «Strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period until 2030»] //Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). S. 3–33.
2. Hrulkov A.V., Dushin M.I., Popov Ju.O., Kogan D.I. Issledovaniya i razrabotka avtoklavnyh i bezavtoklavnyh tehnologij formovaniya PKM [Researches and development autoclave and out-of-autoclave technologies of formation of PCM] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. S. 292–301.
3. Grashhenkov D.V., Chursova L.V. StrategiYa razvitiYa kompozitsionnyh i funktsionalnyh materialov [Strategy of development of composite and functional materials] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. S. 231–242.
4. Grishina O.I., Kochetov V.N., Shavnev A.A., Serpova V.M. Aspekty primeneniya vysokoprochnykh i vysokomodulnykh voloknistykh metallicheskih kompozitsionnykh materialov aviatsionnogo naznacheniya (obzor) [Aspects of application of high-strength and high-modulus fiber metal composite materials for aeronautical purpose (review)] //Trudy VIAM. 2014. №10. St. 05 (viam-works.ru).
5. Timoshkov P.N., Hrulkov A.V. Sovremennye tehnologii pererabotki polimernykh kompozitsionnykh materialov, poluchaemykh metodom propitki rasplavnym svyazuyushchim [Modern technologies of hotmelt polymer composite materials processing] //Trudy VIAM. 2014. №8. St.04 (viam-works.ru).
6. Dement'eva L.A., Serezhenkov A.A., Lukina N.F., Kutsevich K.E. Svoistva i naznachenie kompozitsionnykh maerialov na osnove kleevykh prepregov [Properties and appointment of composite materials based on adhesive prepregs]// Trudy VIAM. 2014. №8. St. 06 (viam-works.ru).
7. Muhametov R.R., Ahmadiya K.R., Kim M.A., Babin A.N. Rasplavnye svyazuyushhie dlya perspektivnykh metodov izgotovleniya PKM novogo pokoleniya [Melt binding for perspective methods of production of PCM of new generation] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. S. 260–265.
8. Dushin M. I., Hrulkov A.V., Raskutin A.E. K voprosu udaleniya izlishkov svyazuyushchego pri avtpklavnim formovanii izdeliy iz polimernykh kompozitsionnykh materialov [To question of removal of excesses binding at avtoklavny formation of products from polymeric composite materials]// Trudy VIAM. 2013. №1. St. 03 (viam-works.ru).

9. Kablov E.N. Materialy i himicheskie tehnologii dlya aviacionnoj tehniki [Materials and chemical technologies for the aircraft equipment] //Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2012. T. 82. №6. S. 520–530.
10. Sposob poluchenija izdeliya iz kompozicionnogo materiala [A way of receiving a product from composite material]: pat. 2448808 Ros. Federaciya; opubl. 05.10.2010.
11. Postnov V.I., Petuhov V.I., Kazakov I.A., Abramov P.A., Postnov A.V., Senatorova O.G., Zhelezina G.F. Izgotovlenie iz MPKM konstruktivnyh elementov planera samoleta i osobennosti ih formoobrazovaniya [Production from MPKM of constructive elements of a glider of the plane and feature of their shaping] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2009. №3. S. 10–19.
12. Dushin M.I., Hrulkov A.V., Muhametov R.R. Vybortehnologicheskikh parametrov avtoklavnogo formovaniya detalej iz polimernyh kompozicionnyh materialov [A choice of technological parameters of autoclave formation of details from polymeric composite materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2011. №3. S. 20–26.
13. Raskutin A.E. Konstrukcionnye ugleplastiki na osnove novyh svyazuyushhih rasplavnogo tipa i tkanej PORCHER [Constructional coal plastics on the basis of new binding melt type and PORCHER fabrics] //Novosti materialovedeniya. Nauka i tehnika. 2013. №5. St. 01 (materialsnews.ru).
14. Kablov E.N. Sovremennye materialy – osnova innovacionnoj modernizacii Rossii [Modern materials – a basis of innovative modernization of Russia ] //Metally Evrazii. 2012. №3. S. 10–15.
15. Kablov E.N. Materialy i tehnologii VIAM v konstruktsiyah perspektivnih dvigatelei razrabotki OAO «Aviadvigatel» [Materials and VIAM technologies in designs of perspective engines of development of JSC «Aviadvigatel»] //IB «Permskie aviatsionnye dvigateli». 2014. №31. S. 43–47.