



УДК 677.1:678.8

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-2-9-9

**ПРИМЕНЕНИЕ НАТУРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН ПРИ  
ИЗГОТОВЛЕНИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ**

К.И. Донецкий

*кандидат химических наук*

А.В. Хрульков

**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.

*К.И. Донецкий<sup>1</sup>, А.В. Хрульков<sup>1</sup>*

## **ПРИМЕНЕНИЕ НАТУРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*В настоящее время применение натуральных волокон при изготовлении современных полимерных композиционных материалов (ПКМ) приобретает все большую актуальность. Замена привычных стеклянных и углеродных наполнителей на натуральные в ряде случаев обоснована и приводит как к удешевлению продукции, так и к снижению влияния производственных факторов на окружающую среду. Стимулирование использования натуральных волокон в производстве также даст дополнительный импульс развитию традиционных для Российской Федерации сельскохозяйственных отраслей.*

**Ключевые слова:** *натуральные волокна, полимерные композиционные материалы (ПКМ), физико-механические свойства ПКМ, расплавное связующее, экология.*

*K.I. Donetskiy, A.V. Khrulkov*

### **Application of natural fibers for manufacturing of polymer composite materials**

*Currently, the use of natural fibers in production of up-to-date polymer composite materials (PCM) becomes much more important. Replacement of conventional glass and carbon fillers with natural ones reduces both production cost and the effect of polymer composite materials production on the environment. Furthermore, application of natural fibers for manufacturing of polymer composite materials boosts development of agricultural industries traditional for Russia.*

**Key words:** *natural fibers, polymer composite materials (PCM), physical-mechanical properties of the polymer composite materials, molten binder, ecology.*

---

<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**

Основой развития и совершенствования производства композиционных материалов является выпуск разнообразной и конкурентоспособной продукции в количествах, достаточных для обеспечения потребностей как внутреннего российского рынка, так и экспортных поставок. Выполнение этой задачи основано на разработке новых материалов и совершенствовании имеющихся технологий современного производства композиционных материалов [1–5]. При этом идет постоянный поиск передовых приемов переработки нового поколения материалов [6–15].

Одним из способов повышения эффективности производства полимерных композиционных материалов (ПКМ) является разработка ресурсосберегающих технологий, предусматривающих возможность использования продукции как растениеводства, так и деревообрабатывающей промышленности, что в свою очередь способствует снижению себестоимости продукции и рациональному расходованию природных ресурсов.

Объемы мирового производства и потребления натуральной древесины постоянно возрастают, но при этом возобновляемость лесных ресурсов не успевает за потреблением. В связи с этим возникает необходимость в новых источниках восполнения сырьевой базы. Кроме того, основная часть древесных ресурсов России располагается в восточной части страны, в то время как перерабатывающая промышленность в основном сосредоточена в центре, поэтому задача поиска доступного и дешевого сырья для производства композиционных материалов с использованием возобновляемого сырья стоит весьма остро. Ввиду этого широкое вовлечение в производство ПКМ недревесного сырья, например различных натуральных волокон, будет способствовать решению этой задачи. Для обеспечения внедрения «зеленых» технологий необходимо разработать систему технологических, технических, экологических, экономических и организационных мер, обеспечивающих экологически ориентированный рост экономики на основании применения эффективных инновационных технологий («зеленых» технологий, в том числе для разработки современных расплавных связующих и перспективных материалов на их основе с учетом их климатической устойчивости), а также заинтересованность в этом бизнес-сообщества [16–20].

Популярность натуральных волокон возрастает, в том числе в производстве композиционных материалов, – в частности, в наиболее технологически развитых отраслях промышленности, например в автомобильной. Натуральные растительные волокна обладают значительными экологическими преимуществами и имеют достаточно высокие физико-механические свойства. Такие волокна не содержат токсичных веществ, их можно быстро выращивать в необходимых количествах и они имеют приемлемую цену.

### Материалы и методы

К сожалению, в отечественной промышленности при производстве ПКМ натуральные волокна не применяются, несмотря на их достаточно высокие физико-механические свойства. В настоящее время при производстве ПКМ в качестве наполнителей в основном используются стекло- и углеволокна. ПКМ на основе этих наполнителей необходимо использовать при воздействии высокой нагрузки, что часто происходит в авиации, космонавтике и специальном машиностроении. Однако существует множество областей применения ПКМ, где вполне достаточны более низкие свойства материала, а стоимость является принципиальным фактором, определяющим востребованность продукции на рынке. В таком случае применение биокomпозитов вполне оправдано и целесообразно. Приведенные в табл. 1 данные наглядно демонстрируют сопоставление основных свойств волокон, как традиционно используемых при производстве ПКМ, так и натуральных.

Таблица 1

Свойства волокон разных материалов [18]

Волокно	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Диаметр волокна, мк	Удлинение при разрыве, %	Удельная прочность, г/текс
Хлопок	1,2	11–12	7	0,8
Лен	1,3	5–40	3	1,3
Джут	1,5	8–30	2	0,5
Сизаль	1,45	8–40	2	0,5
Стекловолокно	2,55	5–24	2–5	1
Углеволокно	1,9	5–7	2	10

Видно однозначное превосходство свойств стеклянного волокна, а тем более углеродного над натуральными волокнами, однако, если сопоставлять плотность

материалов, а соответственно и массу изделия или удельную прочность, разница выглядит не такой существенной.

### Результаты

В настоящее время в качестве материалов для отделки интерьеров железнодорожного состава используются металлы, термо- или реактопласты и их комбинации, а также (в меньшей степени) композиционные материалы на основе стекловолокна. В то же время во Франции, Финляндии, Испании ведутся разработки композиционных материалов, армированных натуральными волокнами (лен, конопля и др.), на основе как термореактивных, так и термопластичных связующих.

Весьма интересны данные, приводимые западноевропейской компанией NATEX, которая достигла немалых успехов в разработке и изготовлении ПКМ с использованием натуральных волокон как по препреговой, так и по инфузионной технологиям. В табл. 2 сравниваются свойства ПКМ на основе льняного и стеклянного волокон.

Таблица 2

**Сопоставление свойств ПКМ, изготовленных на основе льняного и стеклянного волокон (по данным компании NATEX)**

Свойства	Лен [ $\pm 45^\circ$ ]	Стекло [ $\pm 45^\circ$ ]
Предел прочности, МПа/(г·см <sup>-3</sup> ):		
при изгибе	44,6	40
при растяжении	25,4	29,2
Модуль упругости, ГПа/(г·см <sup>-3</sup> )	2	1,9

В табл. 2 приведена удельная прочность материалов и его модуль упругости.

Таким образом, в ряде случаев использование природных волокон при изготовлении ПКМ вполне оправдано, и такие крупные фирмы, как Audi, BMW, Opel, Peugeot, Renault, Seat, Volkswagen, Ford, Daimler, Chrysler, успешно используют эти материалы в производстве внутренней отделки автомобилей, различных панелей, сидений, бамперов (см. рисунок).



Применение натуральных волокон в автомобилестроении (данные компании BMW)

Применение волокон природного происхождения позволяет решить такие задачи, как использование возобновляемого ресурса, возможность более полной утилизации материала и, кроме того, снижение стоимости изделий, а в ряде случаев – возможная замена стекловолокна.

Рассмотрим влияние утилизации материалов из ПКМ на окружающую среду. Так, показательны результаты исследователей из Эйнховена [21], которые провели подробное исследование, как соотносятся эко-индикаторы материалов на основе льна и стекла. (Эко-индикаторы определяют по совокупности значительного числа параметров, которые включают в себя оценку влияния утилизации материала на озоновый слой Земли, зимний и летний смог, а также еще порядка 15 факторов.)

Оказалось, что эко-индикатор для ПКМ на основе льняных волокон значительно ниже, чем эко-индикатор для ПКМ на основе стекловолокна. Такое существенное расхождение определяется возможностью гораздо более глубокой переработки и утилизации материала на основе природного волокна, а также значительно меньшим остаточным воздействием на окружающую среду.

Замена традиционных материалов, используемых для отделки интерьеров, на биокomпозитные должна приводить к снижению как массы изделий, так и себестоимости продукции ввиду значительно более низкой стоимости натуральных наполнителей (в 7–8 раз ниже по сравнению со стекловолокном) (табл. 3).

Таблица 3

**Сопоставление стоимости различных наполнителей для изготовления ПКМ [19]**

Волокно	Стоимость, USD/кг	Стоимость, USD /м <sup>3</sup>
Дерево	0,26	420
Лен	0,40	600
Стекло	1,87	4850
Полипропилен	0,72	650

Кроме того, благодаря применению натурального возобновляемого сырья снижается экологическая нагрузка на окружающую среду (по данным финского Технического исследовательского центра (VTI), снижается потребление химического сырья на 25%, а углеродные выбросы – на 35%). Снижается также содержание формальдегида, который часто используется при изготовлении подобной продукции.

Наиболее широкое применение композиционные материалы, армированные растительными волокнами, нашли в автомобильной промышленности. Для армирования ПКМ в этом случае могут использоваться различные натуральные волокна: лен, пенька, джут, сизаль, кокос. В странах с развитым автомобилестроением эти материалы обычно импортируются. В автомобилях стали все больше использовать прочные, стойкие к коррозии, легкие полимерные композиции. В настоящее время в современных автомобилях таких материалов >10% (по массе), и их количество постоянно растет.

Первым стал применять пластики в автомобилестроении Генри Форд в 1941 году. В 1953 году фирма Chevrolet уже делала многие детали из полимерных материалов, армированных различными волокнами, что сократило массу автомашины на 85 кг. В 1991–1992 годах у фирмы BMW около 149 кг от массы автомашины (или 10,1%) составляли пластики. Первый бампер из пластика был сделан в компании Ford в 1968 году, а фирма Renault в 1971 году делает бампер из полиэфира, армированного стекловолокном. Армированный натуральным растительным волокном полипропиленовый бампер делала фирма Fiat для своих автомобилей 126-й и 128-й моделей. Натуральные волокна также начал использовать концерн Mercedes-Benz, но при изготовлении топливного бака и ряда деталей применялись композиты со стекловолокном. Эффективно использование таких композитов, где армирующее волокно ориентировано в направлении приложения нагрузки, но встречается много случаев использования неориентированных материалов.

Армирование пластиков натуральными волокнами, в частности льном, позволяет существенно упростить (в сравнении с армированием стекловолокном) переработку деталей, выработавших свой срок [22, 23].

### **Обсуждение и заключения**

1. Натуральные растительные волокна, такие как лен, пенька, джут, сизаль, кокос и др., являются прекрасным материалом для армирования полимерных композитов.

В качестве армирующих составляющих может использоваться ориентированное и спутанное, длинное и короткое льняное волокно, нетканые материалы, пряжа и ткань.

2. Натуральные растительные волокна – это материалы с достаточно высокими физико-механическими, химическими и экологическими свойствами, которые являются альтернативой синтетическим волокнам и стекловолкну.

3. Получать эти волокна можно в неограниченном количестве.

4. Увеличение производства полимерных материалов, армированных натуральными растительными волокнами:

- снижает цены на автомашины;
- стимулирует рост и развитие фермерских хозяйств;
- уменьшает загрязнение почв и улучшает состав воздуха.

5. Полимеры, армированные натуральными растительными волокнами, характеризуются меньшей массой, достаточно высокой прочностью, хорошей эластичностью и коррозионной устойчивостью.

6. Употребление натуральных волокон в таких полимерах, как крахмал, лигнин, гемицеллюлоза, дает продукцию, практически полностью подвергающуюся биоуничтожению.

7. Использование полимерных композитов, армированных натуральными растительными волокнами, такими, например, как лен, в автомобильной промышленности снижает массу большого числа деталей и всего автомобиля, что приводит к сокращению расхода топлива, снижению коррозии материалов и улучшению потребительских свойств автомашины.

8. Возможность полной вторичной переработки вышедших из строя деталей автомашин обеспечит сохранение окружающей среды и позволит регулировать потребление натуральных ресурсов, для Российской Федерации это касается в первую очередь льняного волокна. Замена стекловолкна волокнами из льна, конопли и сизаля в полипропиленовых элементах машин позволила снизить их массу на ~30–40% при сопоставимых механических свойствах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.
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. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
4. Гуняев Г.М., Кривонос В.В., Румянцев А.Ф., Железина Г.Ф. Полимерные композиционные материалы в конструкциях летательных аппаратов //Конверсия в машиностроении. 2004. №4 (65). С. 65–69.
5. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники //Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
6. Донецкий К.И., Хрульков А.В., Коган Д.И., Белинис П.Г., Лукьяненко Ю.В. Применение объемно-армирующих преформ при изготовлении изделий из ПКМ //Авиационные материалы и технологии. 2013. №1. С. 35–39.
7. Григорьев М.М., Коган Д.И., Твердая О.Н., Панина Н.Н. Особенности изготовления ПКМ методом RFI //Труды ВИАМ. 2013. №4. Ст. 03 (viam-works.ru).
8. Донецкий К.И., Коган Д.И., Хрульков А.В. Использование технологий плетения при производстве элементов конструкций из ПКМ //Труды ВИАМ. 2013. №10. Ст. 04 (viam-works.ru).
9. 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).

10. Душин М.И., Коган Д.И., Хрульков А.В., Гусев Ю.А. Причины образования пористости в изделиях из полимерных композиционных материалов //Композиты и наноструктуры. 2013. №3 (19). С. 60–71.
11. Душин М.И., Чурсова Л.В., Хрульков А.В., Коган Д.И. Особенности изготовления полимерных композиционных материалов методом вакуумной инфузии //Вопросы материаловедения. 2013. №3 (75). С. 33–40.
12. 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. №S. С. 292–301.
13. Тимошков П.Н., Коган Д.И. Современные технологии производства полимерных композиционных материалов нового поколения //Труды ВИАМ. 2013. №4 (viam-works.ru).
14. Kobets L.P., Deev I.S. Carbon fibres: structure and mechanical properties //Composites Science and Technology. 1998. Т. 57. №12. С. 1571–1580.
15. Каблов Е.Н., Щетанов Б.В., Ивахненко Ю.А., Балинова Ю.А. Перспективные армирующие высокотемпературные волокна для металлических и керамических композиционных материалов //Труды ВИАМ. 2013. №2. Ст. 05 (viam-works.ru).
16. Кириллов В.Н., Старцев О.В., Ефимов В.А. Климатическая стойкость и повреждаемость полимерных композиционных материалов, проблемы и пути решения //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 412–423.
17. Коган Д.И., Чурсова Л.В., Петрова А.П. Технология изготовления ПКМ способом пропитки пленочным связующим //Клеи. Герметики. Технологии. 2011. №6. С. 25–29.
18. 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. №S. С. 260–265.
19. 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.
20. Киселев М.В. Моделирование строения льняного чесаного волокна и процесса дробления льняных комплексов: монография. Кострома: Изд-во КГТУ. 2009. 110 с.
21. Bos H. The potential of flax fibres as reinforcement for composite materials /In: Technische Universiteit Eindhoven. Eindhoven: 2004. P. 192.
22. Угрюмов С.А. Совершенствование технологии производства композиционных материалов на основе древесных наполнителей и костры льна: Автореф. дис. д.т.н. М. 2009. 39 с.
23. Живетин В.В., Гинзбург Л.Н. Масличный лен и его комплексное развитие. М.: ЦНИИЛКА. 2000. 92 с.

#### REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Aviakosmicheskoe materialovedenie [Aerospace materials] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravochnik. 2008. №3. S. 2–14.
2. Kablov E.N. Strategicheskie napravlenija razvitiya 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. №S. S. 7–17.
3. Kablov E.N. Himija v aviacionnom materialovedenii [Chemistry aviation materials] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. Т. LIV. №1. S. 3–4.
4. Gunjaev G.M., Krivonos V.V., Rumjancev A.F., Zhelezina G.F. Polimernye kompozicionnye materialy v konstrukcijah letatel'nyh apparatov [Polymer composite materials in aircraft structure] //Konversija v mashinostroenii. 2004. №4 (65). S. 65–69.
5. Kablov E.N. Materialy i himicheskie tehnologii dlja aviacionnoj tehniki [Materials and chemical technologies, aircraft] //Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2012. Т. 82. №6. S. 520–530.
6. Doneckij K.I., Hrul'kov A.V., Kogan D.I., Belinis P.G., Luk'janenko Ju.V. Primenenie ob#emno-armirujushhih preform pri izgotovlenii izdelij iz PKM [Use volumetric reinforcing preforms in the manufacture of FRP articles] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2013. №1. S. 35–39.
7. Grigor'ev M.M., Kogan D.I., Tverdaja O.N., Panina N.N. Osobennosti izgotovlenija PKM metodom RFI [Peculiarities of RMB by RFI] //Trudy VIAM. 2013. №4. St. 03 (viam-works.ru).

8. Doneckij K.I., Kogan D.I., Hrul'kov A.V. Ispol'zovanie tehnologij pletenija pri proizvodstve jelementov konstrukcij iz PCM [use of technology in the production of weaving elements of PCM constructions] //Trudy VIAM. 2013. №10. St. 04 (viam-works.ru).
9. Dushin M.I., Hrul'kov A.V., Raskutin A.E. K voprosu udalenija izlishkov svjazujushhego pri avtoklavnom formovanii izdelij iz polimernyh kompozicionnyh materialov [On the question of the removal of excess binder in autoclave molding products from polymeric composite materials] //Trudy VIAM. 2013. №1. St. 03 (viam-works.ru).
10. Dushin M.I., Kogan D.I., Hrul'kov A.V., Gusev Ju.A. Prichiny obrazovanija poristosti v izdelijah iz polimernyh kompozicionnyh materialov [Causes of porosity in products from polymeric composite materials] //Kompozity i nanostruktury. 2013. №3 (19). S. 60–71.
11. Dushin M.I., Chursova L.V., Hrul'kov A.V., Kogan D.I. Osobennosti izgotovlenija polimernyh kompozicionnyh materialov metodom vakuumnoj infuzii [Features of the production of polymeric composite materials by vacuum infusion] //Voprosy materialovedenija. 2013. №3 (75). S. 33–40.
12. Hrul'kov A.V., Dushin M.I., Popov Ju.O., Kogan D.I. Issledovanija i razrabotka avtoklavnyh i bezavtoklavnyh tehnologij formovanija PCM [Research and development autoclave and non-autoclave molding technology PCM] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 292–301.
13. Timoshkov P.N., Kogan D.I. Sovremennye tehnologii proizvodstva polimernyh kompozicionnyh materialov novogo pokolenija [Modern production technology of polymer composite materials of new generation] //Trudy VIAM. 2013. №4 (viam-works.ru).
14. Kobets L.P., Deev I.S. Carbon fibres: structure and mechanical properties //Composites Science and Technology. 1998. T. 57. №12. C. 1571–1580.
15. Kablov E.N., Shhetanov B.V., Ivahnenko Ju.A., Balinova Ju.A. Perspektivnye armirujushhie vysokotemperaturnye volokna dlja metallicheskih i keramicheskikh kompozicionnyh materialov [Prospective reinforcing fibers for high temperature ceramic composites and metal materials] //Trudy VIAM. 2013. №2. St. 05 (viam-works.ru).
16. Kirillov V.N., Starcev O.V., Efimov V.A. Klimaticheskaja stojkost' i povrezhdaemost' polimernyh kompozicionnyh materialov, problemy i puti reshenija [Weather resistance and defectiveness of polymer composite materials, problems and solutions] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 412–423.
17. Kogan D.I., Chursova L.V., Petrova A.P. Tehnologija izgotovlenija PKM sposobom propitki plenochnym svjazujushhim [Manufacturing technology RMB impregnation method bonding film] //Klei. Germetiki. Tehnologii. 2011. №6. S. 25–29.
18. Muhametov R.R., Ahmadijeva K.R., Kim M.A., Babin A.N. Rasplavnye svjazujushhie dlja perspektivnyh metodov izgotovlenija PCM novogo pokolenija [Melt binders promising methods of manufacture of a new generation of PCM] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 260–265.
19. Muhametov R.R., Ahmadijeva K.R., Chursova L.V., Kogan D.I. Nove 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.
20. Kiselev M.V. Modelirovanie stroenija l'njanogo chesanogo volokna i processa droblenija l'njanyh kompleksov: monografija [Modeling the structure combed flax fiber and flax complexes crushing process: a monograph]. Kostroma: Izd-vo KGTU. 2009. 110 s.
21. Bos H. The potential of flax fibres as reinforcement for composite materials /In: Technische Universiteit Eindhoven. Eindhoven: 2004. P. 192.
22. Ugrjumov S.A. Sovershenstvovanie tehnologii proizvodstva kompozicionnyh materialov na osnove drevesnyh napolnitelej i kostry l'na [Improving the technology of composite materials based on wood fillers and fires flax]: Avtoref. dis. d.t.n. M. 2009. 39 s.
23. Zhivetin V.V., Ginzburg L.N. Maslichnyj len i ego kompleksnoe razvitie [Oilseed flax and its complex development]. M.: CNIILKA. 2000. 92 s.