



УДК 678.8

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА  
ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

П.Н. Тимошков

Д.И. Коган

*кандидат технических наук*

**Апрель 2013**

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.

Статья подготовлена для опубликования в журнале «Труды ВИАМ», №4, 2013 г.

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ.

*Описаны новые технологии производства полимерных композиционных материалов нового поколения на основе полимерных связующих разработки ФГУП «ВИАМ» и углеродных и стеклянных армирующих наполнителей. Представлено основное производственное и технологическое оборудование и его характеристики. ФГУП «ВИАМ» в настоящее время оснащен современным исследовательским, испытательным и производственным оборудованием, которое позволяет разрабатывать и производить полимерные композиционные материалы по современным технологиям, отвечающие всем требованиям, предъявляемым к современным материалам авиационной техники.*

**Ключевые слова:** полимерные композиционные материалы, препреги, пропиточное оборудование, автоклав, безавтоклавные методы переработки

*P.N. Timoshkov, D.I. Kogan*

## MODERN TECHNOLOGIES OF NEW GENERATION POLYMER COMPOSITE MATERIALS PROCESSING

*Modern technologies of new generation polymer composite materials processing based on polymer resins development of VIAM Federal State Unitary Enterprise and carbon and glass reinforcement fillers is described. The main examples of processing and technological equipment, developed by VIAM Federal State Unitary Enterprise in comparison with foreign analogs, and its characteristics are provided. VIAM Federal State Unitary Enterprise is equipped now with modern research, test and production equipment which allow to develop and produce polymer composite materials by modern technologies, according to all requirements for aviation material of new generation.*

**Key words:** polymer composite materials, prepregs, prepreg machines, autoclave, out-of-autoclave processing methods

К современным материалам авиационной техники предъявляются очень высокие требования. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) не являются исключением.

Для выполнения этих требований необходимо применение новых современных технологий производства ПКМ [1,2].

Одна из ключевых технологий – препреговая технология. Для создания современных т.н. «калиброванных» препрегов, имеющих минимальное отклонение по весовому составу (на уровне  $\pm 1-3\%$ ), необходимо применение современных прецизионных пропиточных машин [3,4,5]. Именно такое оборудование установлено в ВИАМе – это две современные пропиточные установки, разработанные по техническому заданию ВИАМ. Эти установки уникальны – они позволяют работать в различных режимах пропитки, обладают высокой производительностью, позволяют работать с ткаными и жгутовыми наполнителями.

Помимо этих опытно промышленных установок ФГУП «ВИАМ» обладает специальной намоточной установкой, которая позволяет получать небольшие количества препрега для оценки свойств наполнителей и проведении научно-исследовательских работ.

Для получения изделий из препрегов ПКМ, обладающих максимальными значениями физико-механических характеристик и минимальной пористостью, традиционно применяют автоклавное формование. ФГУП «ВИАМ» обладает современным участком автоклавного формования, оснащенный современным автоклавом. Помимо этого, участок автоклавного формования оснащен автоматизированным раскройным комплексом и «чистой комнатой», которая позволяет свести к минимуму влияние факторов окружающей среды на качество получаемых образцов ПКМ [5].

В тех случаях, когда применение дорогого автоклавного метода для формования изделий из препрегов ПКМ не целесообразно или не требуется достижение максимальных прочностных характеристик ПКМ, весьма удобно использовать вакуумное формование в термошкафу или печи.

Это не единственный безавтоклавный способ получения изделий из ПКМ.

Прогресс в области создания полимерных связующих сделал возможным появление таких альтернативных методов формования, как вакуумная инфузия, RTM, VARTM, RFI и др [3].

Изготовление ПКМ методом инфузионного формования обладает определенными преимуществами: снижает капитальные и трудозатраты при производстве изделий по сравнению с автоклавным методом, позволяет получать ПКМ с уровнем свойств, достаточным для применения в слабонагруженных конструкциях (пористость на уровне 3% об.), недорогая оснастка, простота сборки пакета для формования [4,6].

Технология получения ПКМ методом VARTM и RTM формования позволяет получать ПКМ с уровнем свойств, характерных для автоклавного формования (пористость на уровне 1% об.), при этом затраты на изготовление изделий ниже, чем при автоклавном методе.

Технология получения ПКМ методом RFI позволяет получать ПКМ с уровнем свойств, достаточным для применения в слабонагруженных конструкциях (пористость на уровне 3% об.) с минимальными затратами [3,4].

Использование плетёных объёмно-армирующих преформ в производстве композиционных материалов позволяет реализовать в ПКМ значительное сопротивление к расслаиванию, высокие усталостные показатели, высокую прочность вблизи отверстий, упрощает процесс соединения в сборных конструкциях, обеспечивает возможность автоматизации производства. Для создания таких изделий ФГУП «ВИАМ» разработано техническое задание и планируется к установке специальное плетильное оборудование [4].

Разработка новых ПКМ и технологий их переработки требует наличие серьезной научно-технической и исследовательской базы. Для этого в 2012 г. ФГУП «ВИАМ» был создан современный Центр компетенции по разработке, исследованию свойств и квалификации ПКМ. Он является самым современным в России и одним из самых современных в мире, оснащён лучшим исследовательским, технологическим и испытательным оборудованием.



**ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский  
институт авиационных материалов» ГНЦ РФ**

---

*Федеральное Государственное Унитарное Предприятие  
«Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов»  
Государственный Научный Центр Российской Федерации*

---

## **Современные технологии производства полимерных композиционных материалов нового поколения**

---

*Докладчик: ведущий инженер лаб.25*

*П.Н. Тимошков*

**Москва, 2013**



## Современные технологии изготовления препрегов

Специализированное оборудование для производства расплавных препрегов

Пропиточное оборудование для производства калиброванных препрегов ПКМ по расплавной технологии фирмы «СОАТЕМА», Германия

Обеспечивает выпуск калиброванных препрегов с гарантированными свойствами на основе углеродных, стеклянных, органических жгутов, лент, тканей и связующих расплавного и порошкового типа различной химической природы и вязкости, а также плёночных клеев и связующих.

### **Лабораторная установка для изготовления калиброванных препрегов на основе жгутов и лент Coatema LS-11**



#### Технические характеристики:

- Ширина получаемого препрега – до 350 мм
- Производительность до 10 м/мин
- Точность содержания связующего в препреге –  $\pm(0,5 - 2)$  масс %.
- Автоматический контроль параметров процесса
- Возможность работы с ткаными и жгутовыми наполнителями





## Установка для изготовления калиброванных препрегов на основе жгутов и лент Coatema BL-2800

### Технические характеристики установки:

- Максимальная ширина получаемого препрега – 1200 мм
- Производительность 10 м/мин
- Работа с ткаными и жгутовыми наполнителями
- Автоматический контроль параметров процесса
- Универсальность: возможность получения препрегов в режиме «online», «offline», а также «s-warp».
- точность содержания связующего в препреге  $\pm(0,5-2)\%$





## Намоточная установка для получения препрегов фирмы «Microsam»

- Позволяет изготовить препреги для исследований из небольшого количества наполнителя и связующего.
- Возможность работы с тканями и жгутами
- Возможность работы с расплавными и растворными связующими.





# Изготовление ПКМ автоклавным методом

Высоконагруженные и особо ответственные конструкции фюзеляжа и двигателя



Автоклав «Magnabosco», Италия

Размеры:  $\varnothing 1,5\text{м} \times 2,0\text{м}$

Максимальное давление: 1,0 МПа

Максимальная температура: 250°C



«Чистая» комната

Класс ИСО 8

(ГОСТ ИСО 14644-1-2000)

Class 100 000 (FED STD)



Автоматизированный  
раскройный комплекс для  
раскроя препрегов ПКМ  
фирмы «Zund», Германия



Установка для резки  
препрегов фирмы  
«Robust», Германия





# Вакуумное формование препрега



## Изготовление ПКМ по методу вакуумного формования препрега

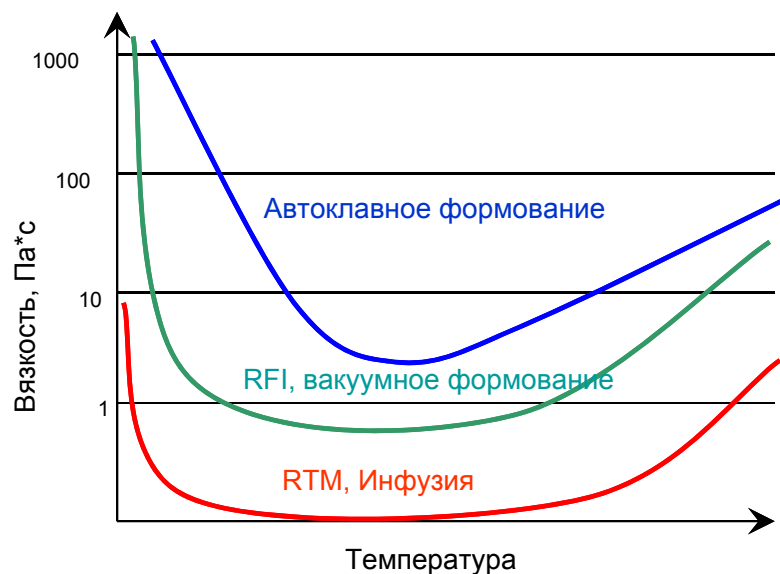
### Преимущества:

- Высокая точность содержания связующего в ПКМ (как следствие – низкий коэффициент вариации свойств материала)
- Снижение капитальных и трудовых затрат при производстве изделий





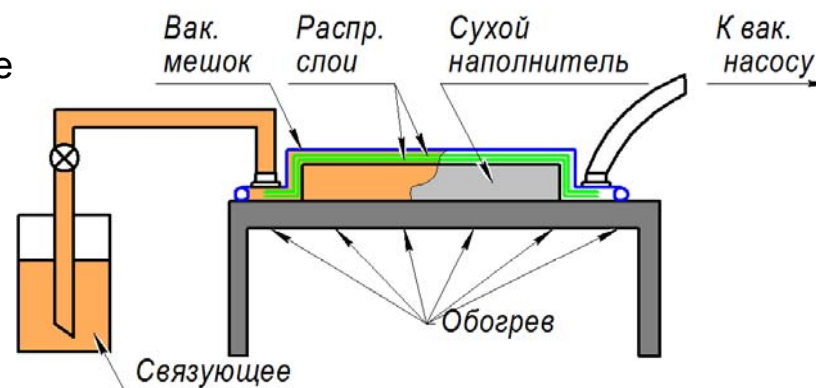
# Технология получения ПКМ методом инфузии



## Изготовление ПКМ методом инфузионного формования

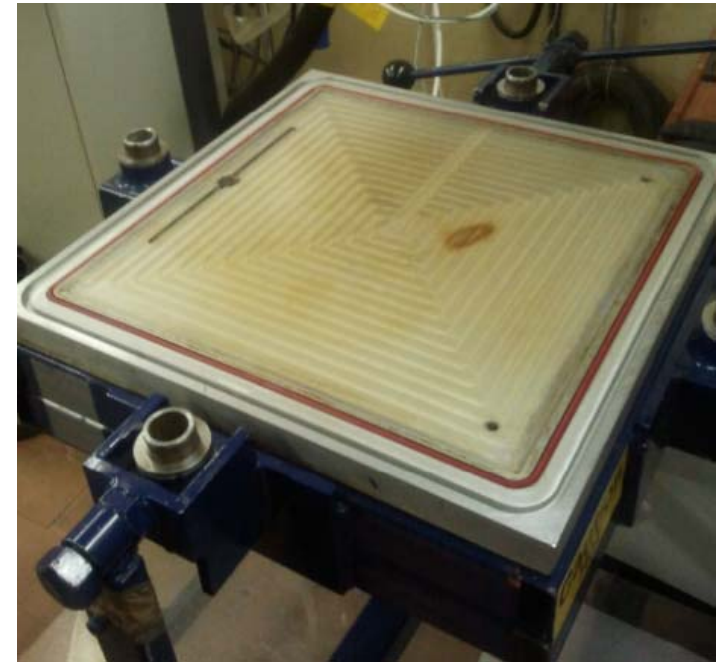
Преимущества:

- Снижение капитальных и трудозатрат при производстве изделий
- Позволяет получать ПКМ с уровнем свойств, достаточным для применения в слабонагруженных конструкциях (пористость на уровне 3% об.)
- Недорогая оснастка, простота сборки пакета для формования





# Технология получения ПКМ методом VARTM и RTM формования



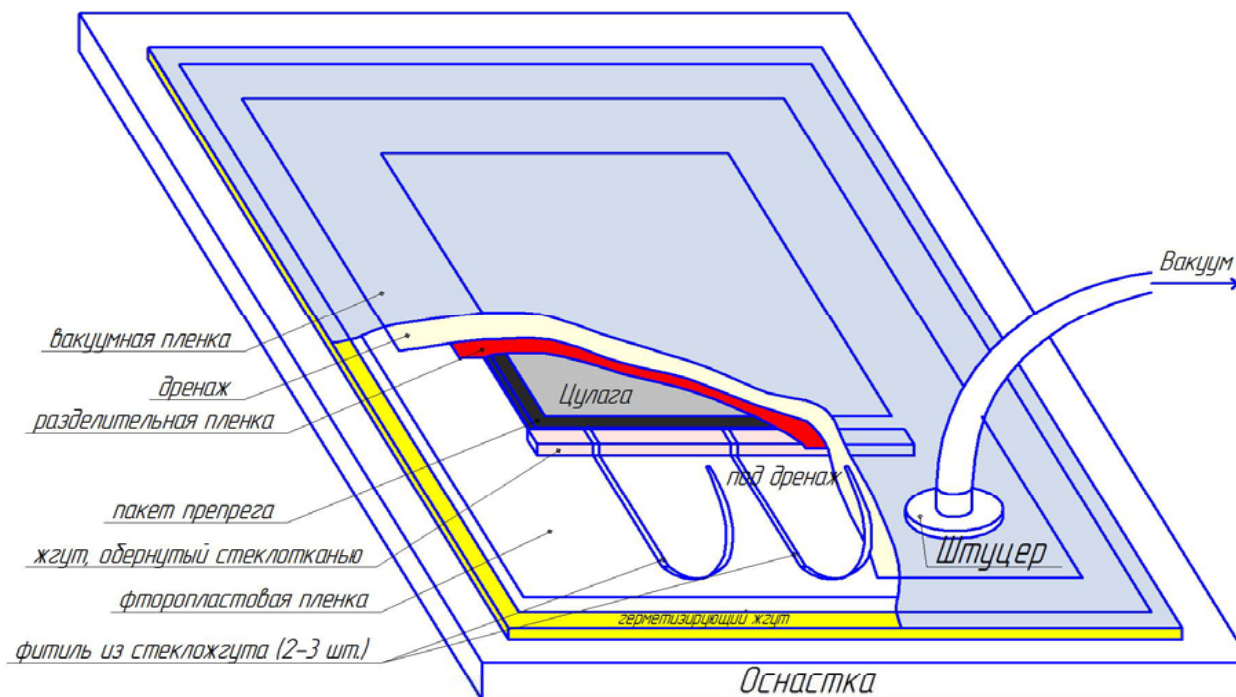
## Преимущества:

- Позволяет получать ПКМ с уровнем свойств, характерных для автоклавного формования (пористость на уровне 1% об.)
- Затраты на изготовление изделий ниже, чем при автоклавном методе





# Технология получения ПКМ методом RFI

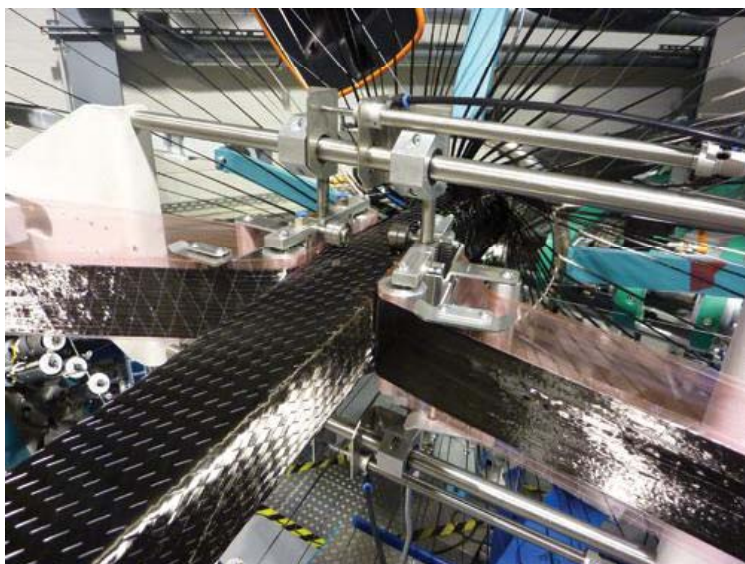
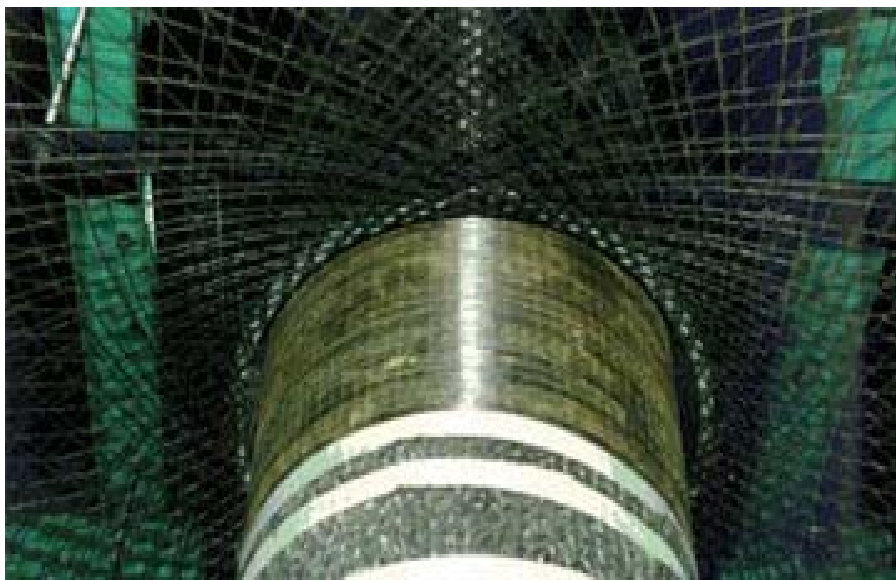


## Преимущества:

- Позволяет получать ПКМ с уровнем свойств, достаточным для применения в слабонагруженных конструкциях (пористость на уровне 3% об.)
- Низкие затраты на формование



## Использование плетёных объёмно-армирующих преформ в производстве композиционных материалов



- *значительное сопротивление к расслаиванию;*
- *высокие усталостные показатели;*
  - *высокая прочность вблизи отверстий;*
- *упрощение проблем соединений в сборных конструкциях;*
  - *обеспечение возможности автоматизации производства.*





## Центр компетенции по разработке, исследованию свойств и квалификации ПКМ

---

- Создан в 2012 г. на базе ФГУП «ВИАМ»
- Является самым современным в России и одним из самых современных в мире
- Оснащён лучшим исследовательским, технологическим и испытательным оборудованием



---

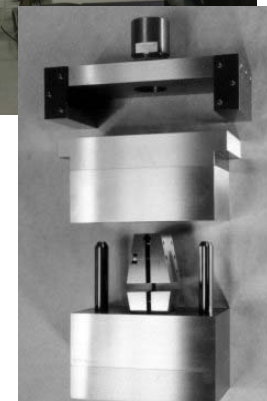
## Основные задачи:

- ✓ Разработка ПКМ и технологий их производства
- ✓ Исследование свойств связующих, препрегов и ПКМ (DSC, DMA, TGA,  $\sigma$ , E,  $\tau$  и др.)
- ✓ Проведение квалификационных испытаний в соответствии с мировыми стандартами (ASTM, AITM, EN, BMS и др.)



## Механические испытания ПКМ

- Растяжение
- Растяжение с открытым и заполненным отверстием
- Сжатие после удара
- Межслойный сдвиг
- Сдвиг в плоскости листа
- Смятие
- Вязкость разрушения
- Удар
- Сжатие
- Сжатие с открытым и заполненным отверстием
- Изгиб



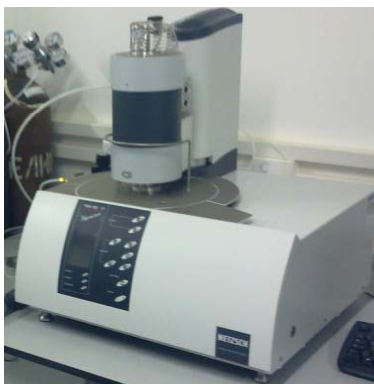


# Центр компетенции по разработке, исследованию свойств и квалификации ПКМ

## Термо-аналитические исследования



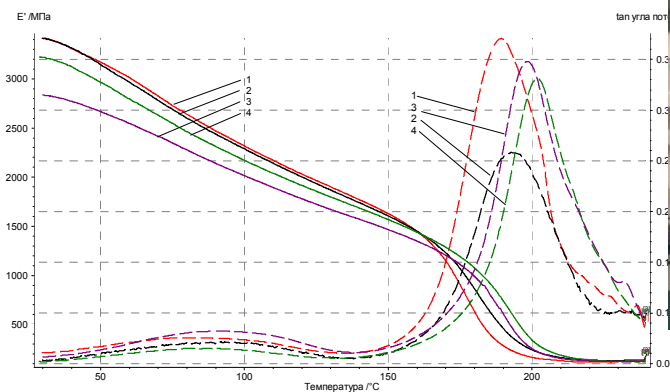
**DSC**



**TMA**



**DMA**



**STA + ИК-спектроскопия**



**Гельтаймер**

## ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года /В сб.: Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч.-технич. сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии»). М.: ВИАМ. 2012. С. 7-17.
2. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов /В сб.: Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч.-технич. сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии») М.: ВИАМ. 2012. С. 231-242.
3. Alan Baker, Stuart Dutton, Donald Kelly «Composite Materials for Aircraft Structures», 2004 г.
4. Ресурсы Интернета
5. Душин М.И., Хрульков А.В., Раскутин А.Е.. К вопросу удаления излишков связующего при автоклавном формовании изделий из полимерных композиционных материалов // Труды ВИАМ. Электронный журнал. 2013. № 1
6. Раскутин А.Е., Гончаров В.А.. Компьютерное моделирование технологического процесса изготовления ПКМ методом вакуумной инфузии / В сб. Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч.-технич. сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии»). М.: ВИАМ. 2012. С. 286-291.