

УДК 678.8

А.В. Хрульков¹, М.М. Григорьев¹, Л.Н. Язвенко¹

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ БЕЗАВТОКЛАВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ (обзор)

DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-2-6-6

Применение полимерных композиционных материалов приобретает все более широкие масштабы. Уровень привлекательности безавтоклавных технологий очень высок, поскольку они позволяют исключить использование дорогостоящего оборудования при обеспечении требуемого уровня свойств. Мировые тенденции развития авиастроения показывают, что безавтоклавные технологии будут применяться в производстве конструкций для беспилотников, ракет, коммерческой и общей авиации.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы (ПКМ), углепластик, стеклопластик, безавтоклавные технологии.

The use of polymer composite materials is becoming increasingly wide spread. Non-autoclave technology has a very high level of attractiveness, as they allow to avoid the use of expensive equipment while ensuring the required level of properties. Global trends in the development of aviation industry show that the non-autoclave technology will be used in the manufacture of structures for UAVs, missiles, commercial and general aviation.

Keywords: polymer composite materials (PCM), carbon fiber, fiberglass, non-autoclave technology.

¹Федеральное 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

По традиции производство высококачественных деталей конструкционного назначения из ПКМ включает оборудование с использованием автоклавных технологий, а это капиталоемкий и трудозатратный технологический процесс. Для снижения затрат проводится поиск альтернативного оборудования, обеспечивающего получение композитов с необходимым уровнем свойств. Анализ научно-технического развития в области разработки и использования композиционных материалов подтверждает актуальность задач по разработке технологических решений изготовления нового поколения конструкций безавтоклавными способами.

В ВИАМ разработаны «Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года», в которых обозначены 18 комплексных проблем с учетом тенденций развития материалов в мире [1, 2].

ВИАМ обладает научно-техническим заделом в области разработки полимерных композиционных материалов (ПКМ), перерабатываемых по безавтоклавным технологиям [3–11], что позволит освоить производство конструкций этими методами.

Материалы и методы

Рассмотрим, как развивалась сфера создания композитов и безавтоклавных технологий в авиастроительной отрасли и каковы дальнейшие перспективы.

Количество единиц выпущенных летательных аппаратов с 2005 по 2015 г. и прогноз их дальнейшего производства представлен на рис. 1. Несмотря на то что ожидаемый рост общего спроса на все воздушные суда в течение следующих 10 лет, по мнению экспертов, составит всего 6% в год, даже в этом случае потребуются создание новых производств и внедрение безавтоклавных технологий [3]. Из 452 тыс. штук поставляемых систем в период с 2013 по 2022 г. значительная часть представляет собой небольшие беспилотные авиационные (БАС) и ракетные системы.

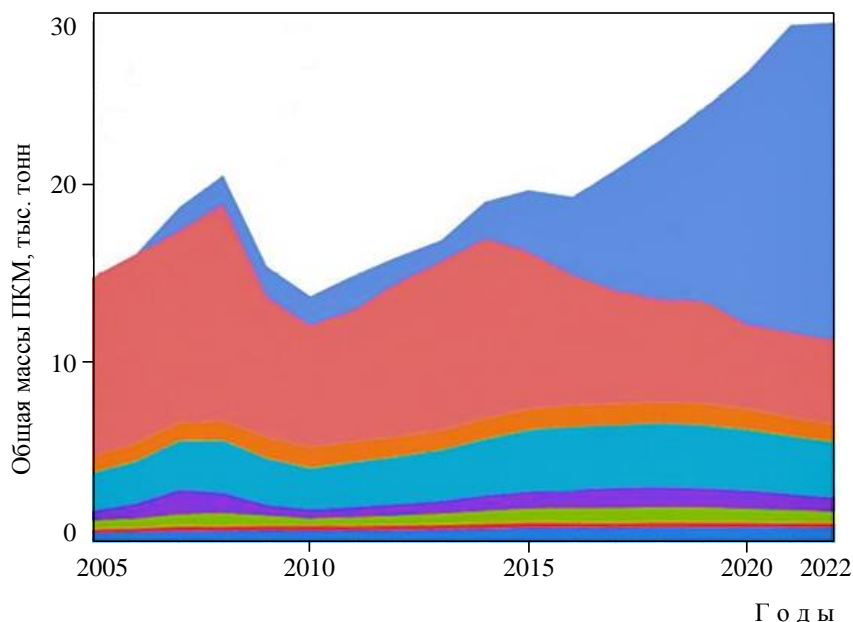


Рис. 1. Годовой выпуск летательных аппаратов в мире:

■ – беспилотные аппараты; ■ – ракеты и боеприпасы; ■ – вертолеты; ■ – двигатели; ■ – общая авиация; ■ – бизнес-авиация; ■ – военная авиация; ■ – коммерческая авиация

За последние четыре десятилетия благодаря использованию композиционных материалов в аэрокосмической программе произошли значительные изменения (рис. 2). В настоящее время просматривается выход на определенный уровень объемов применения композиционных материалов в конструкциях летательных аппаратов. Так, в беспилотниках и вертолетах он может достигать 80% и более, в военной авиации 60%, в коммерческой авиации – более 50%.

Первоначально, еще в 60–70-х гг. XX в., композиционные материалы нашли применение главным образом в сфере создания и производства военных истребителей и частных самолетов малой авиации. Автоклавный способ формования сразу был принят в качестве стандартного, потому что обеспечивал качество продукции и в то время значительно превосходил другие формы производства композиционных материалов. При этом применение волоконно-армированных композитов ограничивалось изготовлением небольших обтекателей и некритических элементов планера. В 1980-х гг. использование угле- и стекловолокна, а также арамидных волокон для композитов получило широкое распространение не только при производстве элементов механизации крыла и больших обтекателей, но и при строительстве ракет и спутников. В 1986 г. при изготовлении конструкций для аэрокосмической промышленности во всем мире было использовано приблизительно 2,8 млн фунтов (1270 т) композиционных материалов. Через десять лет благодаря последовательным техническим разработкам в области материалов и технологий изготовления объемы производства выросли в 2 раза.

К середине 2000-х гг. они достигали уже более 10,8 млн фунтов (4880 т), а к 2015 г. ожидается на уровне 30 млн фунтов (10 000 т) – рис. 3.

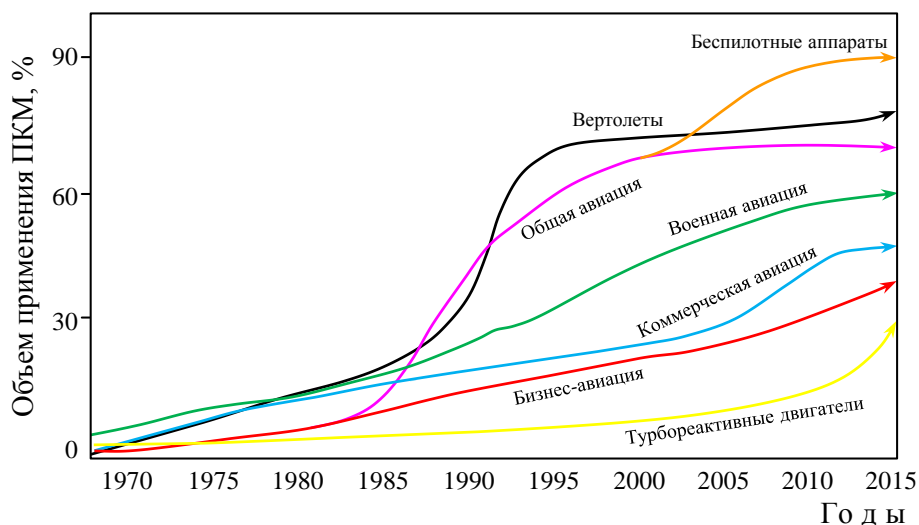


Рис. 2. Объем применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) в летательных аппаратах

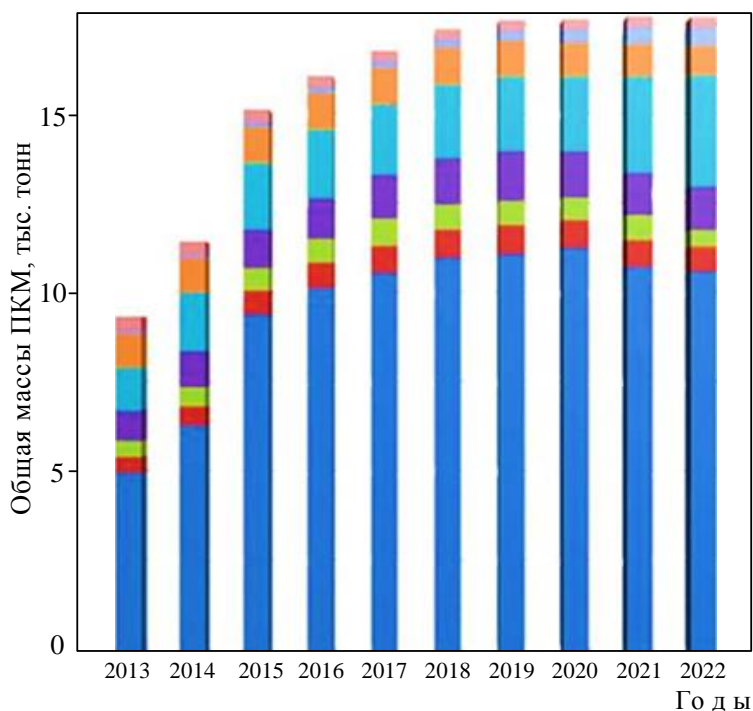


Рис. 3. Объемы применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструкциях:

■ – ракеты и боеприпасы; ■ – беспилотные аппараты; ■ – вертолеты; ■ – двигатели; ■ – военная авиация; ■ – общая авиация; ■ – бизнес-авиация; ■ – коммерческая авиация

По прогнозам, положительная динамика роста объема производства авиационных конструкций из композиционных материалов будет наблюдаться в течение ближайших нескольких лет. Так, продолжился рост применения композитов при производстве самолетов Boeing 787 и Airbus A350. Наибольшая часть этого роста будет движущей силой ускоренного спроса на ПКМ в последующие три года. Большие

перспективы и возможности для широкого внедрения композитов в авиационной технике имеются в производстве самолета Боинг 777X (США), грузового самолета китайской корпорации COMAC (Шанхай), самолета серии ERJ-170/190/195X фирмы Embraer (Бразилия), а также российских гражданских самолетов серии Super Jet NG компании «Сухой» и МС-21. Несмотря на то что при производстве названных воздушных судов ни в одном из них углеродное волокно в фюзеляже не используется, углепластик должен стать основным конструкционным материалом для крыла и оперения, в значительной мере заменив в них традиционный алюминий.

Ожидается, что общий вклад авиационных конструкций из композиционных материалов для этих новых моделей составит от 30 до 40% массы планера по сравнению с 14 до 27% в существующих моделях. Это и станет определяющим фактором роста спроса на композиты ближе к концу прогнозного периода, хотя, безусловно, с гораздо меньшим эффектом, чем для самолетов Airbus A350 и Boeing 787. Тем не менее, с учетом прежде всего ценовых, технических и логистических критериев, алюминиевый сплав останется пока основным материалов для производства фюзеляжа как минимум в течение этого десятилетия и, возможно, следующего.

Благодаря совершенствованию методологии проектирования и созданию алюминий-литиевых сплавов нового поколения появилась возможность изготавливать для современных воздушных судов коммерческого класса, в частности узкофюзеляжных самолетов пассажироместимостью от 130 до 210 чел., фюзеляж на 3–5% легче, чем его аналог из композиционного материала. Кроме того, главным преимуществом использования алюминий-литиевых сплавов является экономия средств по сравнению с применением углепластика. Впрочем, возможности для снижения затрат при производстве углепластика и других композитов также имеются (рис. 4).



Рис. 4. Оценка затрат для изготовления изделий из полимерных композиционных материалов

Затраты включают стоимость сырья и производства, включая оснастку и оборудование. Особую статью расходов представляет контроль качества, который при изготовлении многих крупных конструкций довольно дорогостоящий и составляет $\sim 1/3$ от общей стоимости всех затрат. Однако высокоскоростное лазерное CO₂-оборудование и другие неразрушающие технологии проверки в течение последующих десяти лет позволят уменьшить эти расходы, улучшить разрешающие характеристики и существенно сократить время обработки данных, что позволит сократить расходы в ~ 2 раза.

На рис. 5 представлена структура распределения объемов рынка безавтоклавных технологий в 2013 г., где наибольшая доля приходилась на детали из ПКМ для коммерческой и общей авиации.

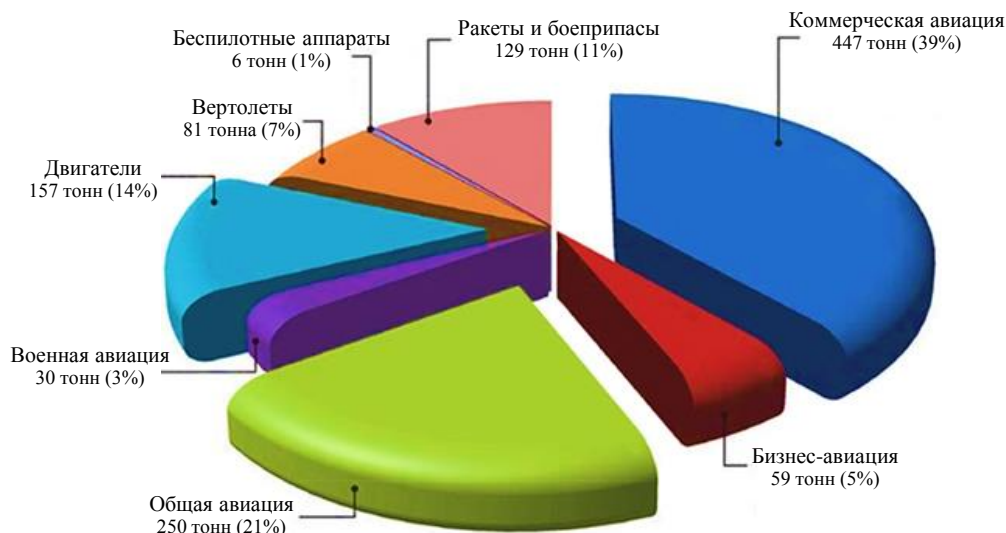


Рис. 5. Оценка рынка полимерных композиционных материалов, изготовленных по безавтоклавным технологиям

Если композиты будут применяться более широко, чем традиционные материалы (металлы), то производители должны решить следующие задачи: поддерживать или улучшать эксплуатационные свойства, как правило, достигнутые при производстве на основе препрегов, отверждаемых в автоклавах. Безавтоклавные технологии активно развивались в течение последних 25 лет, и существует достаточно доказательств того, что их применение позволит увеличить производство композиционных материалов для авиационных конструкций.

Результаты и обсуждение

В настоящее время существует довольно много методов, основанных на безавтоклавных технологиях, таких как: пропитка под давлением (RTM); инфузия с последующим вакуумным формованием (VARTM); инфузия с литевой подачей смолы (SQRTM), которая разработана фирмой Radius Engineering Inc. (США). По статистике, представленной на рис. 6, безавтоклавные процессы уже составляют ~14% текущих аэрокосмических композитных поставок, т. е. ~2,6 млн фунтов (1158 т). Растущие объемы для композитов, полученных по безавтоклавным технологиям, включают:

- фиксированные передние кромки крыла (для самолетов Airbus A340 и A380);
- ребра балки (Airbus A340) и киля (A380);
- переборки давления (для самолетов Boeing 787);
- пакеты компонентов задней кромки крыла (для самолетов Boeing 787 и Airbus A350);
- руль, балки перекрытий (для самолета G650 компании Gulfstream Aerospace);
- вертикальный стабилизатор (для регионального реактивного самолета MRJ корпорации «Мицубиси» (Япония));
- кабина самолета Learjet компании Bombardier Aerospace (Канада) – детали выполнены по RTM технологиям;
- лопасти винта для турбовинтовых самолетов, выполненные по RTM технологиям;
- турбореактивные лопасти вентилятора двигателя и распорки, лопатки статора и т. д. для отечественных самолетов;
- секции фюзеляжа самолета JASSM-ER, изготовленные по VARTM технологиям;
- складные крылья, рули и контейнеры для ракет и боеприпасов.

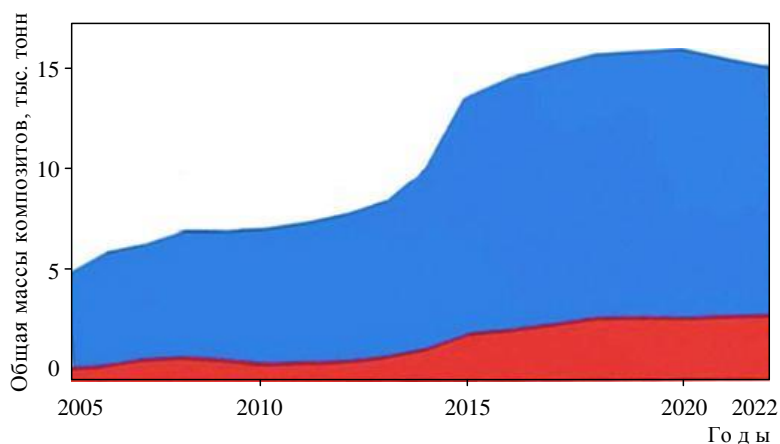


Рис. 6. Ожидаемое в 2022 г. соотношение общего рынка композитов (■) и композитов, полученных безавтоклавными методами (■)

Ограничивающими факторами при применении безавтоклавных технологий являются требования к объему используемого волокна и пористости многих материалов. Для первичных элементов планера самолетов, применяемых для коммерческих перевозок и в военных целях, требуется, чтобы содержание пустот составляло $<1\%$, а объем фракции с волокнами составлял 65% или более. Для вторичных структурных компонентов допустимое содержание пустот не должно превышать $\sim 2\%$. Детали, изготовленные по безавтоклавным технологиям, содержат пустоты в пределах от $1,5$ до 5% , поэтому до недавнего времени производства, связанные с выпуском самолетов Boeing 787 и Airbus A350, а также судов для малой авиации общего назначения не были крупнейшими пользователями безавтоклавных технологий.

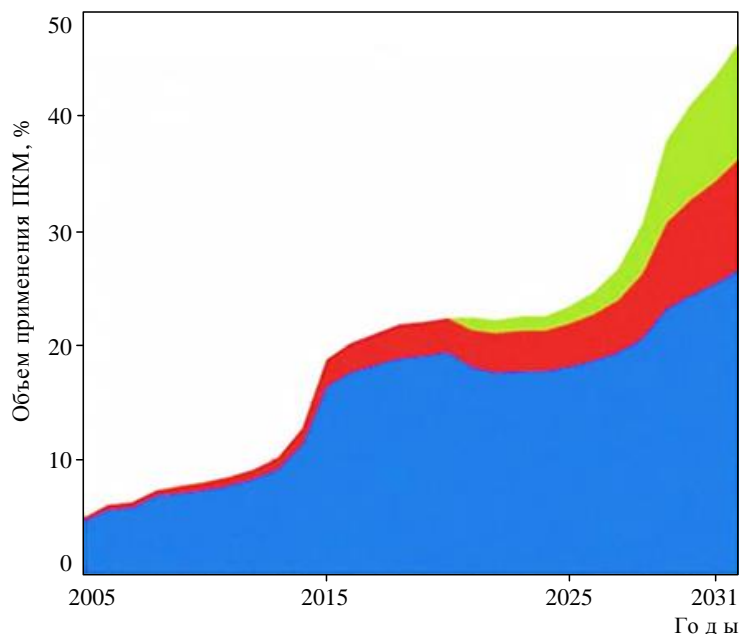


Рис. 7. Потенциальный вклад полимерных композиционных материалов (ПКМ), полученных по безавтоклавной технологии, в авиационные конструкции:

■ – автоклавные композиты; ■ – текущие и планируемые безавтоклавные композиты; ■ – если будет достигнуто содержание композитов 60% в новых модификациях самолетов A320 и Boeing 737

В течение следующего десятилетия планируется усовершенствовать безавтоклавные технологии для более эффективной реализации их при изготовлении композиционных материалов. Интегральное склеивание компонентов упростит сборку и значительно сократит потребность в использовании дорогостоящих автоклавов. Как показывают результаты исследований, некоторым производителям, применяющим безавтоклавные технологии, удалось добиться снижения затрат при производстве компонентов на 25–60% по сравнению с традиционно применяемыми автоклавными методами, и это является еще одним весомым аргументом в пользу широкого применения новых методов при производстве композитов [12–15]. Данные прогнозируемого роста объемов применения ПКМ в производстве современной авиатехники представлены на рис. 7.

При конструировании самолетов и планеров планируется использовать 35% композиционных материалов нового поколения, но для фюзеляжа самолета, скорее всего, будут применяться алюминий-литиевые сплавы третьего поколения. При производстве самолетов A320 или Boeing 737 в объемах, превышающих 400 единиц самолетов в год, может потребоваться ~10 млн фунтов (4536 т) композитов в год.

Заключение

Исследование и оценка рынка композиционных конструкций, а также анализ научно-технического развития в области разработки и использования композиционных материалов показали, что внедрение безавтоклавных технологий актуально для изготовления конструкций нового поколения. Для увеличения применения композитов после 2022 г. необходимо решить ряд ключевых задач, а именно:

- снизить стоимость связующих и наполнителей;
- снизить стоимость изготовления деталей и узлов;
- повысить скорость обработки и сократить продолжительность отверждения связующих;
- увеличить объем капиталовложений, необходимых для создания новых производственных мощностей.

В ВИАМ разработаны «Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года». Институт, обладая необходимым оборудованием и квалифицированными специалистами, способными создавать и разрабатывать полимерные композиционные материалы с помощью безавтоклавных технологий, готов уже в настоящее время в широких масштабах осваивать производство авиационных конструкций этими методами.

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. Каблов Е.Н., Гращенков Д.В., Ерасов В.С., Анчевский И.Э., Ильин В.В., Вальтер Р.С. Стенд для испытания на климатической станции ГЦКИ крупногабаритных конструкций из ПКМ /В сб. докл. IX Международ. науч. конф. по гидроавиации «Гидроавиасалон–2012». 2012. С. 122–123.
3. Тимошков П.Н., Коган Д.И. Современные технологии производства полимерных композиционных материалов нового поколения // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2013. №4. Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 09.06.2015).
4. Соколов И.И., Раскутин А.Е. Углепластики и стеклопластики нового поколения // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2013. №4. Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 09.06.2015).

5. 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.
6. Душин М.И., Хрульков А.В., Платонов А.А., Ахмадиева К.Р. Безавтоклавное формование углепластиков на основе препрегов, полученных по растворной технологии // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №2. С. 43–48.
7. Бабин А.Н. Связующие для полимерных композиционных материалов нового поколения // *Труды ВИАМ*. 2013. №4. Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 09.06.2015).
8. Каблов Е.Н. Материалы и технологии ВИАМ в конструкциях перспективных двигателей разработки ОАО «Авиадвигатель» // *Пермские авиационные двигатели*. 2014. №31. С. 43–47.
9. 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.
10. Чурсова Л.В., Душин М.И., Коган Д.И., Панина Н.Н., Ким М.А., Гуревич Я.М., Платонов А.А. Пленочные связующие для RFI-технологии // *Российский химический журнал*. 2010. Т. LIV. *Материалы для авиакосмической техники*. С. 63–67.
11. Каблов Е.Н., Кондрашов С.В., Юрков Г.Ю. Перспективы использования углеродсодержащих наночастиц в связующих для полимерных композиционных материалов // *Российские нанотехнологии*. 2013. Т. 8. №3–4. С. 24–42.
12. Wang K., Kelly D., Dutton S. Multi-objective Optimisation of Composite Aerospace Structures. *Composite Structures*. 2002. P. 141–148.
13. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №S. С. 231–424.
14. Mikheyev S.V., Bourtsev B.N., Danilkina V.L., Ivannikova R.V., Selemenev S.V., Schetinin Y.S. Kamov Composite Blades // *Proceedings of 31st European Rotorcraft Forum*. Florence. 2005. P. 20–22.
15. Григорьев М.М., Коган Д.И., Гусев Ю.А., Гуревич Я.М. Особенности изготовления ПКМ методом вакуумного формования препрега // *Авиационные материалы и технологии*. 2014. №3. С. 67–71.