

Научная статья

УДК 678.8

DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-1-66-75

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ И ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРЫЛЬЕВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ САМОЛЕТОВ (обзор)

П.Н. Тимошков¹, В.А. Гончаров¹, М.Н. Усачева¹, А.В. Хрульков¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, Москва, Россия; admin@viam.ru

Аннотация: Крылья самолетов Boeing 787 и Airbus A350 изготавливают методом автоматизированной выкладки из препрегов с последующим автоклавным формованием. В ближайшие годы компании Boeing и Airbus планируют замену самолетов 737 и A320, поэтому необходимо разработать новые материалы и технологии, чтобы обеспечить производство воздушных судов в количестве 100 шт. в месяц. Для внедрения новых процессов и материалов проводятся исследования по выбору связующего и наполнителей, отработке процесса вакуумной пропитки, отверждения и автоматизации с целью повышения надежности, ускорения процесса и сокращения продолжительности цикла.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, вакуумная инфузия, автоматизированная выкладка, препреги, автоклавное формование, продолжительность цикла

Для цитирования: Тимошков П.Н., Гончаров В.А., Усачева М.Н., Хрульков А.В. Особенности технологии и полимерные композиционные материалы для изготовления крыльев перспективных самолетов (обзор) // Труды ВИАМ. 2022. № 1 (107). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-1-66-75.

Scientific article

FEATURES OF TECHNOLOGY AND POLYMER COMPOSITE MATERIALS FOR THE MANUFACTURE OF WINGS OF ADVANCED AIRCRAFT (review)

Pavel N. Timoshkov¹, Vitaly A. Goncharov¹, Maria N. Usacheva¹, Alexander V. Khrulkov¹

¹NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, Moscow, Russia; admin@viam.ru

Abstract: Today, the wings of Boeing 787, Airbus A350 aircraft are made by automated laying out of prepregs with subsequent autoclave molding. Boeing and Airbus plan to replace the 737 and A320 aircraft in the coming years, and new materials and technologies need to be developed to ensure the production of these aircraft in the amount of 100 pieces per month. To introduce new processes and materials, research is being carried out on the selection of a binder, reinforcing fillers, development of the vacuum impregnation process, curing and automation in order to increase reliability, speed up the process and reduce cycle time.

Keywords: polymer composite materials, vacuum infusion, automated laying out, prepregs, autoclave molding, cycle time

For citation: Timoshkov P.N., Goncharov V.A., Usacheva M.N., Khrulkov A.V. Features of technology and polymer composite materials for the manufacture of wings of advanced aircraft (review). *Trudy VIAM*, 2022, no. 1 (107), paper no. 07. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-1-66-75.

Введение

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) чрезвычайно привлекательны по своим весовым характеристикам. Их стоимость значительно выше стоимости алюминия и его сплавов, однако когда речь идет об экономии массы изделия, то экономическая эффективность от применения углепластиков однозначно более высокая. Поэтому применение ПКМ в конструкции крыла давно привлекало конструкторов. Так, в самолете Су-47 крылья обратной стреловидности изготовлены из углепластика. Основные преимущества крыла обратной стреловидности – это значительное увеличение маневренности, большая подъемная сила по сравнению с крылом прямой стреловидности такой же площади, увеличение дальности полета на дозвуковой скорости благодаря меньшему сопротивлению, а также лучшая управляемость на малых скоростях. При этом для борьбы с упругой дивергенцией крыла необходимо придать ему повышенную жесткость. Металлическая конструкция крыла приводит к значительному увеличению массы изделия, поэтому применен углепластик, который обеспечил требуемую жесткость. Одновременно «интеллектуальные» ПКМ позволили создать самоадаптирующуюся конструкцию [1]. Из углепластика изготовлены детали мотогондолы двигателя ПД-14, элементы механизации крыла, арочные элементы моста и другие конструкции. Совершенствуются связующие, осваиваются новые способы получения армирующих наполнителей, внедряются автоматизированные технологии, осваивается вакуумная инфузия с последующим безавтоклавным формованием [2–10]. Так, в АО «ОНИИП «Технология» им. А.Г. Ромашина» в Обнинске из композиционных материалов по автоклавной технологии изготавливают хвостовое оперение для самолета МС-21. На этом же предприятии освоена и технология вакуумной инфузии с последующим формованием в термопечи. По этой технологии производят формообразующую оснастку, ненагруженные детали, а также крупногабаритные обшивки космического назначения [11].

В настоящее время из ПКМ по препреговой технологии изготавливают детали крыла и фюзеляжа самолетов Boeing 787 и Airbus A350. В перспективе до 2035 г. необходимо построить более 30 тыс. самолетов типа Boeing 737, A320 и МС-21. Однако при применении современных циклов изготовления отсутствуют возможности реализовать такие планы. Поэтому, для того чтобы в месяц выпускать до 100 самолетов каждой из этих марок, требуется создание новых технологий, которые позволили бы каждый день изготавливать до трех комплектов композитных крыльев.

Каждое крыло самолета имеет две обшивки – нижнюю и верхнюю, которые обеспечивают его аэродинамику. Внутренняя поверхность обшивки включает ряд параллельных стрингеров, идущих от корня до кончика и обеспечивающих структурную поддержку. В идеале стрингеры должны быть отверждены вместе с обшивкой, однако могут быть закреплены и механически. Обшивки и стрингеры окружают нервюры крыла, а также передний и задний лонжероны, которые тоже прикреплены к нервюрам и проходят по всей длине крыла. Лонжерон является основным элементом конструкции крыла, выдерживает полетные нагрузки и поддерживает крыло, когда самолет находится на земле (рис. 1).

На предприятии АО «АэроКомпозит-Ульяновск» из отечественных материалов уже изготавливают по технологии вакуумной инфузии центроплан и крыло самолета МС-21. Применение ПКМ в конструкции обеспечило возможность производства крыла большего удлинения, что в свою очередь повысило аэродинамические качества и эффективность при эксплуатации.

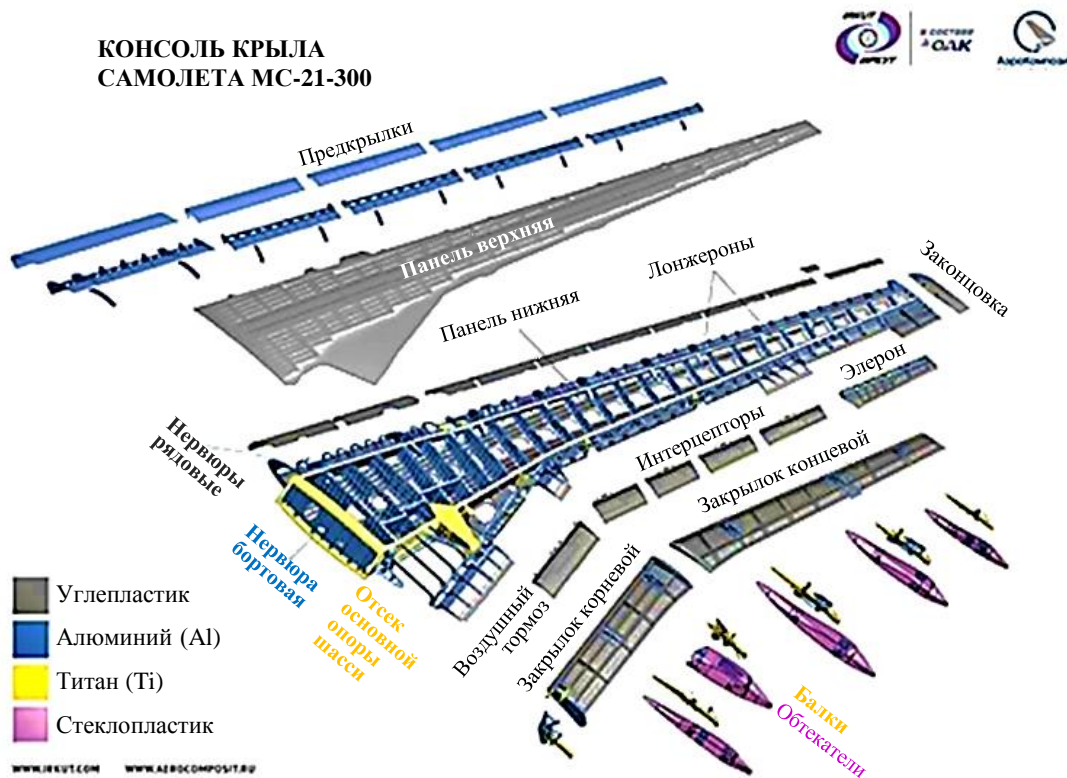


Рис. 1. Консоль крыла самолета МС-21-300 [12]

Особенности технологии изготовления деталей крыла самолета по вакуумной технологии

Авиационная промышленность считается одним из самых инновационных и прогрессивных технологических секторов во всем мире. В настоящее время в разработке новых технологий производства крыла заинтересованы все мировые производители. Фирма Airbus запустила в 2015 г. программу «Крыло завтрашнего дня», по которой разрабатывается технология изготовления деталей крыла с использованием вакуумной инфузии [12].

Фирма Airbus распределила работу между несколькими партнерами, каждый из которых сосредоточился на разработке различных комбинаций материалов и процессов для разных структур [13]. Данная компания работает над обшивкой верхнего крыла, кессоном крыла, нервюрами кессона крыла, закрылками и шарниром складывающейся законцовки крыла; компания Spirit AeroSystems (Шотландия) – над обшивкой нижнего крыла, неподвижной передней кромкой и предкрылком, а компания GKN Aerospace (Великобритания) – над задним лонжероном, задней кромкой и нервюрами кессона крыла совместно с фирмой Airbus. Национальный центр композитов (Великобритания) также сотрудничает с Airbus в производстве прототипов крыльев самолетов. В рамках проекта «Крыло завтрашнего дня» фирма Fischer Advanced Composite Components (FACC) трудится над разработкой инновационных производственных процессов, которые будут использовать при изготовлении трех основных компонентов крыла: нижних кожухов кессона крыла, закрылков и панелей спойлера. Компонент крыла имеет очень цельную конструкцию, однако благодаря продуманным решениям с точки зрения материалов, процессов и дизайна компания FACC предлагает фирме Airbus доступную легкую конструкцию, обеспечивая при этом высокую пригодность для серийного производства.

Разрабатываемая технология предназначена для изучения и разработки лучших материалов, методов производства и сборки, а также новых решений в аэродинамике и архитектуре крыла, что позволит снизить затраты на оборудование и оснастку, а также повысить производительность – это особенно важно для возможного использования при производстве больших самолетов. При этом разрабатываются многочисленные технологии и варианты конструкций как внутри компаний, так и на уровне поставщиков и партнеров, что позволит в дальнейшем принимать обоснованные решения, когда придется выбирать окончательный вариант. Цель состоит в том, чтобы производить сложные конструкции быстрее, проще и экономичнее.

Оценивается несколько передовых композитных технологий, среди которых вакуумная инфузия связующего для обшивки нижней части крыла, разработанная компанией Spirit AeroSystems (Великобритания).

При проектировании и производстве новых поколений крыльев просматривается стремление к высокой степени интеграции конструкции, чтобы максимально сократить количество деталей и продолжительность их производства и сборки, обеспечивая таким образом более высокую рентабельность. Интегральная конструкция позволяет избежать последующих высоких затрат на сборку и достичь высокой степени готовности производственных процессов при высоких скоростях. Помимо сложной технологии изготовления и использования новых материалов, так называемых многоосных тканей, конструкция оснастки также оказалась в высшей степени инновационным достижением [14].

В настоящее время процесс изготовления обшивки крыла из композиционных материалов на самолетах Airbus A350 и Boeing 787 осуществляется по технологии автоматизированной выкладки препрегов (Automated Tape Laying – ATL) и является привлекательным, поскольку позволяет относительно быстро размещать существенное количество материала на большой площади, особенно если деталь имеет небольшую кривизну. Однако после выкладки заготовки детали необходимо отверждать в автоклаве, что требует длительного производственного времени. При изготовлении самолетов 787 и A350 в количестве ~10 шт. в месяц существующие технологии и оборудование обеспечивали требуемое количество деталей. Однако при попытке заглянуть в будущее оказывается, что производство самолетов следующего поколения (например, нового узкофюзеляжного самолета компании Airbus для замены A320) может составлять 60–100 шт. в месяц. Для производственного процесса, зависящего от автоклава, потребуются большие капиталовложения и производственные площади, чтобы соответствовать этим темпам, и, следовательно, процесс ATL станет неприемлемым и с практической, и с экономической точек зрения.

Именно по такой причине предполагается выбрать процессы безавтоклавной технологии. При этом особое внимание уделяется обшивке крыльев. Хотя первые составные обшивки крыла (для самолетов A350 и 787) были изготовлены по технологии ATL с последующим автоклавным формованием, использование безавтоклавных процессов не ново. Для узкофюзеляжного самолета МС-21 (Россия) обшивку крыла изготавливают по технологии вакуумной инфузии. В Ульяновске производят выкладку сухого наполнителя, пропитанного для связки биндеров на станках с автоматической выкладкой. После этого осуществляют пропитку преформы жидким связующим под воздействием вакуумной инфузии, что позволяет получить интегральную конструкцию и минимизировать последующие операции сборки, а следовательно, снизить трудоемкость и повысить производительность.

Другой самолет, у которого есть подобная обшивка крыла, – это Airbus A220. Крылья для него производит компания Bombardier Aerospace (Северная Ирландия) с использованием вакуумной инфузии в сочетании с автоклавным формованием.

Вакуумная инфузия имеет большое значение, когда дело доходит до изготовления обшивки крыла. Основными преимуществами являются безавтклавное отверждение, возможность совместного отверждения обшивок и стрингеров, изготовление почти готовой формы обшивки и возможность экономичного производства с высокой скоростью (60–100 комплектов в месяц). Вакуумная инфузия также имеет несколько недостатков, один из которых – потенциально долгое время нахождения на оснастке.

Как отмечено ранее, разработка инфузионной обшивки нижней части крыла ведется компанией Spirit AeroSystems на своем предприятии в Великобритании. С начала 2018 г. работа компании над данной технологией была сосредоточена на изготовлении и тестировании 7-метрового прототипа. К середине июля 2020 г. компания Spirit AeroSystems находилась в процессе перехода к следующему этапу программы по изготовлению 17-метрового полномасштабного демонстратора.

Демонстратор имеет приблизительно такие же форму и размер обшивки нижней части крыла и может являться прототипом для обшивки крыла нового узкофюзеляжного коммерческого самолета, который заменит A320. Максимальная ширина обшивки составляет 3,3 м, а ширина на кончике – 1,1 м. Толщина обшивки составляет 5 мм у носка и 30 мм на стыке обшивки с деталями основного шасси.

Обшивку крыла будут производить с использованием набора технологий, разработанных компанией Spirit AeroSystems, под названием Intelligent Resin Infusion System (IRIS), включающего специализированные оснастки (рис. 2), автоматизированную выкладку материала, интегрированное формование стрингеров и строго контролируруемую температуру процесса. В основе этой системы лежит встроенная технология нагрева оснастки, элементы нагрева которой расположены близко к поверхности формы, где используют низковольтный нагрев для обеспечения быстрого и точного контроля температуры. Уровня нагрева достигают за счет управления и регулирования потребляемой мощности. В оснастке из углеродного волокна, включающей крышку с подогревом и полугибкий многоразовый вакуумный мешок, используют специализированную технологию контроля температуры пресс-формы [14].



Рис. 2. Полномасштабная 17-метровая оснастка для обшивки нижней части крыла [14]

Существует несколько мест нагрева, которые управляются и контролируются индивидуально. Это позволяет каждой зоне работать при заданных температурах на протяжении всего цикла инфузии и отверждения, что очень важно, поскольку каждая зона детали требует разного подводимого тепла в зависимости от ее размера и объема. Эта усовершенствованная система нагрева является неотъемлемой частью оснастки и обеспечивает тесный контакт с деталью для уменьшения требуемых мощности и продолжительности цикла.

Полимерные композиционные материалы для изготовления деталей крыла

Углеродный наполнитель с промежуточным модулем упругости, жгутом волокна 24К для обшивки крыла поставляется компанией Teijin Carbon Europe GmbH (Германия). Форматы волокна включают однонаправленные (UD), а также двухосные и трехосные ткани (NCF). Кроме того, в комплект входят вставки из стекловолокна, для избежания расслоения при сверлении и для защиты от гальванической коррозии.

Компания Spirit AeroSystems работала в сотрудничестве с немецкой компанией, чтобы выбрать типы тканей NCF, а также сбалансировать конструктивные характеристики и стоимость производства. Часть обшивки будут производить из однонаправленных тканей или жгутов, что позволяет повысить структурные характеристики. Использование этих двух типов материалов продемонстрирует способность вводить различные материалы с помощью технологии IRIS.

Этот же наполнитель NCF компании Teijin можно применить в стрингерах, которые будут изготавливать с использованием специальной машины для формования непрерывных стрингеров, разработанной компанией Broetje-Automation GmbH (Германия). Машина для формования стрингеров будет способна изготавливать стрингеры различных толщины, кривизны и углов.

Связующее, выбранное для обшивки крыла, представляет собой однокомпонентную эпоксидную систему от компании Solvay Composite Materials' (США). Связующее будет доставляться к сухому наполнителю через «множественные» точки впрыска, тщательно выбранные для максимальной скорости впрыска и смачивания. Инжекционное оборудование предоставлено компанией Composite Integration Ltd (Великобритания). Конструкция будет снабжена полугибким многоразовым мешком, на котором будет установлена массивная крышка с подогревом.

После отработки технологии компания Spirit AeroSystems передаст ее компании National Composite Center (NCC) для изготовления полномасштабного демонстратора: компания NCC будет программировать и эксплуатировать новую машину для выкладки слоев под руководством компании Spirit, а также проводить неразрушающий контроль. Все остальные операции (подготовка оснастки, установка стрингеров и мешка, трубок подачи связующего, выкладка на оснастку и работа на инфузионном оборудовании) будут выполняться в компании NCC самостоятельно.

Особенности технологии выкладки заготовок деталей

Выкладку слоев в компании NCC будут выполнять с помощью установки сверхвысокой скорости выкладки (рис. 3, а), роботизированной системой на базе портала, в которой используется технология автоматизации, предоставленная компанией Güdel (Швейцария).

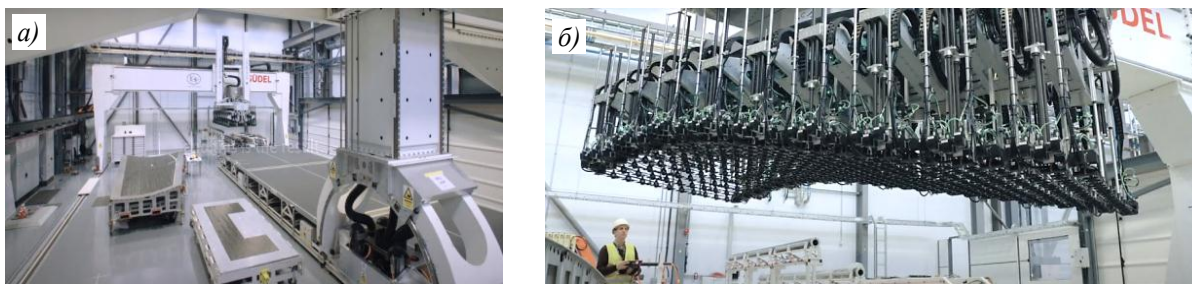


Рис. 3. Роботизированный комплекс Güdel: общий вид (а), а также захват раскрытой заготовки с помощью манипулятора с 270 вакуумными присосками и перенос ее на форму (б)

Раскрой заготовок осуществляется на установке для раскроя (рис. 3, б). Далее двумя системами будет произведена выкладка тканей NCF в оснастку при изготовлении заготовки обшивки. Первая система, называемая FibreFORM, состоит из плотного набора присосок, которые собирают и размещают раскроенные слои тканей NCF. Вторая система, называемая FibreROLL, наматывает длинные слои на барабан, а затем раскатывает их на оснастку.

Такие технологии, как сверхвысокоскоростная выкладка, должны обеспечить наилучшие шансы на соблюдение требований к скорости, стоимости и качеству крыльев самолетов гражданской авиации нового поколения, сохраняя при этом конкурентоспособность.

Самый главный вопрос, который должен быть решен компаниями Spirit AeroSystems и NCC, – это пропускная способность. Чтобы конкурировать с процессами на основе технологии ATL [15, 16] с последующим отверждением в автоклаве, не только инфузия должна быть более производительной, но и обшивка крыла, появляющаяся в результате процесса, должна требовать минимальной последующей обработки. Для повышения производительности в эксплуатацию вводится крупномасштабная машина для выкладки, которая способна укладывать ткани.

Использование специальной технологии контроля температуры пресс-формы в сочетании с однокомпонентной системой смол от компании Airtech International (Калифорния, США) и герметизирующим слоем ускорит подачу смолы и пропитку наполнителя. Сначала смола пропитает обшивку, а в последнюю очередь – стрингеры. Пока неизвестно, сколько времени займет этот процесс, однако при учете того, что обшивка 7-метрового крыла пропитывается приблизительно за 4 ч, ожидается, что 17-метровая обшивка пропитается за такое же время.

Как отмечалось ранее, потенциально ограничивающим фактором при инфузии является относительно продолжительное время нахождения материала на оснастке, которое делает производственный цикл слишком длительным. Однако с помощью моделирования и запатентованного инструмента Trade Tool производства Spirit AeroSystems компания смогла смоделировать технологический процесс, что позволило выбрать его оптимальные режимы, а также обеспечило возможность автоматизировать управление этим процессом.

Выкладка ткани происходит быстрее, поскольку используются широкие заготовки тканей NCF по сравнению с узкой лентой для AFP, но требуется больше времени для инфузии. Однако ключевым преимуществом является продолжительность выкладки тканей NCF. В целом время использования оснастки должно быть сопоставимым по времени с применяемым на данный момент процессом или сокращаться по мере совершенствования технологии выкладки и процесса инфузии. Мультиаксиальные ткани уже используют при изготовлении таких самолетных деталей, как гермошпангоут А-380, створки люка самолета А400М [17]. Роботизированная выкладка многослойных тканей позволит не только механизировать процесс, но и обеспечит производство необходимого количества деталей для будущих больших программ выпуска летательных аппаратов [18].

Производственных мощностей, необходимых для изготовления крыльев при количестве 60 комплектов и более, потребуется значительно меньше при использовании процесса IRIS с обогреваемой оснасткой, а также при применении автоматизированного процесса выкладки заготовок из тканей NCF и машины для непрерывного формования стрингеров. Программа по выпуску 60 крыльев в месяц требует изготовления комплекта через каждые 3 ч. В том случае, если бы использовались современные технологии, количество машин ATL и автоклавов привело бы к значительным первоначальным

затратам и текущим расходам. Одновременно проводятся исследования по внедрению ПКМ из термопластов. Для крыльев предполагается производить нервюры, а в перспективе применять термопласты при изготовлении фюзеляжа.

Заключения

В настоящее время детали крыльев самолетов в основном изготавливают по автоклавной технологии, что на данном этапе хорошо освоено и гарантирует требуемое качество и надежность конструкций.

В перспективе элементы крыла будущих авиалайнеров планируют изготавливать по новым технологиям – вакуумной инфузии с последующим безавтоклавным способом отверждения. Для этого потребуются создание нового производства, оснащенного высокопроизводительными установками выкладки армирующих наполнителей, в том числе с использованием как однонаправленных, так и многослойных тканей.

Для пропитки сухой заготовки из углеродного наполнителя разрабатывают специальные связующие, обладающие низкой вязкостью, что обеспечит смачиваемость и пропитку углеродных волокон во всем объеме преформы.

Необходимо также будет применять оснастку, которая обеспечивает нагрев поверхности формы с быстрым и точным контролем температуры. Уровень нагрева должен достигаться за счет управления и регулирования потребляемой мощности.

Создание таких интегральных конструкций снизит цикл изготовления и позволит производить фирмам до 100 узкофюзеляжных самолетов в месяц.

Список источников

1. Уголок неба. Су-47 «Беркут» // Авиационная энциклопедия. URL: <http://www.airwar.ru/enc/fighter/s37.html> (дата обращения: 10.09.2021).
2. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90. № 4. С. 331–334.
3. Каблов Е.Н. Становление отечественного космического материаловедения // Вестник РФФИ. 2017. № 3. С. 97–105.
4. Каблов Е.Н. ВИАМ: Материалы нового поколения для ПД-14 // Крылья Родины. 2019. № 7–8. С. 54–58.
5. 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. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
6. Ткачук А.И., Донецкий К.И., Терехов И.В., Караваев Р.Ю. Применение термореактивных связующих для изготовления полимерных композиционных материалов методами безавтоклавного формования // Авиационные материалы и технологии. 2021. № 1 (95). Ст. 03. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 19.02.2021). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-22-33.
7. Донецкий К.И., Караваев Р.Ю., Раскутин А.Е., Панина Н.Н. Свойства угле- и стеклопластиков на основе плетеных преформ // Авиационные материалы и технологии. 2016. № 4. С. 54–59. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-4-54-59.
8. Белинис П.Г., Донецкий К.И., Лукьяненко Ю.В., Рогожников В.Н., Майер Ю., Быстрикова Д.В. Объемно-армирующие цельнотканые преформы для изготовления полимерных композиционных материалов (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2019. № 4 (57). С. 18–26. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-18-26.
9. Тимошков П.Н. Оборудование и материалы для технологии автоматизированной выкладки препрегов // Авиационные материалы и технологии. 2016. № 2 (41). С. 35–39. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-2-35-39.

10. Вешкин Е.А., Постнов В.И., Постнова М.В., Баранников А.А. Опыт применения вакуум-инфузионных технологий в производстве конструкций из ПКМ // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. № 4 (3). С. 344–350.
11. Как в России делают суперлегкие детали для самолетов и ракет // РИА новости: сайт. URL: <https://ria.ru/20190522/1553632826.html> (дата обращения: 08.09.2021).
12. Крыло из российских композиционных материалов установлено на самолет MC-21-300 // Композитный мир. 2021. № 3. С. 7.
13. «Wing of Tomorrow»: FACC and Airbus develop wings of the future. URL: <https://newsroom.aviator.aero/wing-of-tomorrow-facc-and-airbus-develop-wings-of-the-future> (дата обращения: 10.09.2021).
14. GKN Aerospace Manufactures First Parts for Wing of Tomorrow Program. URL: <https://www.compositesworld.com/news/gkn-aerospace-manufactures-first-demonstrator-parts-for-wing-of-tomorrow-program> (дата обращения: 10.09.2021).
15. Update: Lower wing skin, Wing of Tomorrow. URL: <https://www.compositesworld.com/articles/update-lower-wing-skin-wing-of-tomorrow> (дата обращения: 13.09.2021).
16. Large, high-volume, infused composite structures on the aerospace horizon. URL: <https://www.compositesworld.com/articles/large-high-volume-infused-composite-structures-on-the-aerospace-horizon> (дата обращения: 07.09.2021).
17. Сидорина А.И. Мультиаксиальные углеродные ткани в изделиях авиационной техники // Авиационные материалы и технологии. 2021. № 3 (64). Ст. 10. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 13.09.2021). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-3-105-106.
18. Тимошков П.Н., Гончаров В.А., Григорьева Л.Н., Усачева М.Н., Хрульков А.В. Роботизированная выкладка препрега как альтернатива технологиям ATL и AFP (обзор) // Труды ВИАМ. 2021. № 3 (97). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 13.09.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-3-87-98.

References

1. Corner of the sky. Su-47 "Berkut". Available at: <http://www.airwar.ru/enc/fighter/s37.html> (accessed: September 10, 2021).
2. Kablov E.N. Materials of a new generation and digital technologies for their processing. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2020, vol. 90, no. 4, pp. 331–334.
3. Kablov E.N. Formation of domestic space materials science. *Vestnik RFBR*, 2017, no. 3, pp. 97–105.
4. Kablov E.N. VIAM: New generation materials for PD-14. *Krylya Rodiny*, 2019, no. 7–8. pp. 54–58.
5. Kablov E.N. Innovative developments of FSUE «VIAM» SSC of RF on realization of «Strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030». *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2015, no. 1 (34), pp. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
6. Tkachuk A.I., Donetsky K.I., Terekhov I.V., Kara-vaev R.Yu. The use of thermosetting matrices for the manufacture of polymer composite materials by the non-autoclave molding methods. *Aviation materials and technology*, 2021. no. 1 (62). paper no. 03. Available at: <https://journal.viam.ru> (accessed: February 19, 2021). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-22-23.
7. Doneckij K.I., Karavaev R.Yu., Raskutin A.E., Panina N.N. Properties of carbon fiber and fiberglass on the basis of braiding preforms. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2016, no. 4 (45), pp. 54–59. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-4-54-59.
8. Belinis P.G., Donetskiy K.I., Lukyanenko Yu.V., Rogozhnikov V.N., Mayer Yu., Bystrikova D.V. Volume reinforcing solid-woven preforms for manufacturing of polymer composite materials (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, no. 4 (57), pp. 18–26. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-18-26.
9. Timoshkov P.N. Equipment and materials for the technology of automated calculations prepregs. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2016, no. 2, pp. 35–39. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-2-35-39.

10. Veshkin E.A., Postnov V.I., Postnova M.V., Barannikov A.A. Experience in the use of vacuum infusion technologies in the production of PCM structures. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2018, vol. 20, no. 4 (3). pp. 344–350.
11. How superlight parts for aircraft and missiles are made in Russia. Available at: <https://ria.ru/20190522/1553632826.html> (accessed: September 8, 2021).
12. A wing made of Russian composite materials was installed on the MS-21-300 aircraft. *Composite World*, 2021, no. 3, pp. 7.
13. "Wing of Tomorrow": FACC and Airbus develop wings of the future. Available at: <https://newsroom.aviator.aero/wing-of-tomorrow-facc-and-airbus-develop-wings-of-the-future> (accessed: September 10, 2021).
14. GKN Aerospace Manufactures First Parts for Wing of Tomorrow Program. Available at: <https://www.compositesworld.com/news/gkn-aerospace-manufactures-first-demonstrator-parts-for-wing-of-tomorrow-program> (accessed: September 10, 2021).
15. Update: Lower wing skin, Wing of Tomorrow. Available at: <https://www.compositesworld.com/articles/update-lower-wing-skin-wing-of-tomorrow> (accessed: September 13, 2021).
16. Large, high-volume, infused composite structures on the aerospace horizon. Available at: <https://www.compositesworld.com/articles/large-high-volume-infused-composite-structures-on-the-aerospace-horizon> (accessed: September 7, 2021).
17. Sidorina A.I. Multiaxial carbon fabrics in the products of aviation technology (review). *Aviation materials and technologies*, 2021, no. 3 (64), paper no. 10. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: September 13, 2021). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-3-105-106.
18. Timoshkov P.N., Goncharov V.A., Grigoreva L.N., Usacheva M.N., Hrulkov A.V. Robotic laying out of prepregs as an alternative to technology to ATL and AFP (review). *Trudy VIAM*, 2021, no. 3 (97), paper no. 08. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: September 13, 2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-3-87-98.

Информация об авторах

Тимошков Павел Николаевич, советник генерального директора, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Гончаров Виталий Александрович, начальник научно-исследовательского отделения, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Усачева Мария Николаевна, техник 2 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Хрульков Александр Владимирович, ведущий инженер-технолог, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Pavel N. Timoshkov, Counselor of Director General, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Vitaly A. Goncharov, Head of Scientific-Research Bureau, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Maria N. Usacheva, Second Category Technician, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Alexander V. Khrulkov, Leading Engineer-technologist, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 09.11.2021; одобрена после рецензирования 22.11.2021; принята к публикации 22.11.2021.

The article was submitted 09.11.2021; approved after reviewing 22.11.2021; accepted for publication 22.11.2021.