
Научная статья

УДК 678.8

DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-8-85-99

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ И СТЕКЛЯННЫХ ВОЛОКОН ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ

П.М. Путилина¹, К.Е. Куцевич¹, А.Ю. Исаев¹

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

Аннотация. Выполнен обзор зарубежных и российских публикаций на тему применения углепластиков и стеклопластиков в элементах конструкций беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Описаны преимущества их применения, влияние соотношения прочности материалов к их массе на эффективность БПЛА. Рассмотрены виды деталей из полимерных композиционных материалов (ПКМ), методы их создания, влияние технологии изготовления на свойства пластиков. При проектировании БПЛА предложено рассмотреть использование ПКМ на основе клеевых препрегов с углеродными и стеклянными наполнителями разработки НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, углепластик, стеклопластик, клеевой препрег, клеевое связующее

Для цитирования: Путилина П.М., Куцевич К.Е., Исаев А.Ю. Полимерные композиционные материалы на основе углеродных и стеклянных волокон для изготовления деталей беспилотных летательных аппаратов и перспективы их развития // Труды ВИАМ. 2023. № 8 (126). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-8-85-99.

Scientific article

CARBON FIBER-REINFORCED AND GLASS FIBER-REINFORCED POLYMER COMPOSITES FOR THE MANUFACTURE OF COMPONENTS FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES AND THEIR DEVELOPING PROSPECTS

P.M. Putilina¹, K.E. Kutsevich¹, A.Yu. Isaev¹

¹Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

Abstract. Foreign and Russian publications on the use of carbon fiber-reinforced plastics (CFRPs) and glass fiber-reinforced plastics (GFRPs) in the structural elements of unmanned aerial vehicles (UAVs) were reviewed. The advantages of their application and the influence of strength-to-weight ratio of the materials on the efficiency of the UAV were described. The types of components made of polymer composite materials, their creation methods and the influence of manufacturing technology on the properties of plastics were explored. Adhesive prepregs with carbon and glass reinforcements developed by the NRC «Kurchatov Institute» – VIAM are proposed for possible use in the design of UAVs.

Keywords: unmanned aerial vehicle, CFRP, GFRP, adhesive prepreg, adhesive binder

For citation: Putilina P.M., Kutsevich K.E., Isaev A.Yu. Carbon fiber-reinforced and glass fiber-reinforced polymer composites for the manufacture of components for unmanned aerial vehicles and their developing prospects. *Trudy VIAM*, 2023, no. 8 (126), paper no. 08. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-8-85-99.

Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) начали разрабатывать в первой половине XX века для военных, а впоследствии и гражданских целей. В число военных задач входили ударная и разведывательная функции, а также использование БПЛА в качестве мишеней при обучении. По сравнению с пилотируемой авиацией, БПЛА обладают рядом преимуществ: безопасность для оператора, большая мобильность, невысокая стоимость производства и эксплуатации. Отсутствие необходимости в участии пилота позволяет не только избежать потерь летного состава, но и уменьшить число конструктивных ограничений, снизить массу аппарата. Все это повышает эффективность ведения оборонительных и наступательных боевых действий [1–3].

Развитие технологий привело к активному использованию БПЛА на гражданском рынке. В настоящее время беспилотная авиация, помимо военной отрасли, используется более чем в 20 сферах деятельности. В них входят контроль состояния производственных объектов, строительных площадок, нефте- и газопроводов, мониторинг природных ресурсов, научные исследования, аэрофотосъемка, доставка грузов и охрана. Так, аппараты, находящиеся на вооружении МЧС России, применяют для обнаружения пожаров и наводнений. Как показывают данные опроса 2020 года, количество заявок на эксплуатацию БПЛА в сфере услуг по сравнению с предыдущим годом увеличилось в 2 раза [1, 4–6].

В России БПЛА производят более 70 предприятий. Из наиболее известных аппаратов можно отметить «Орлан», «Зала», «Орион», «Форпост», а также находящийся в настоящее время в разработке «Охотник» [1, 7, 8].

Тенденция к уменьшению массогабаритных параметров и повышению маневренности БПЛА способствует росту потребности в создании новых материалов, в частности композиционных [3, 7, 9]. Благодаря таким материалам возможно создание более прочных и легких элементов конструкции аппарата, что повышает его летно-технические характеристики [2].

Композиционные материалы интересны в первую очередь тем, что их характеристики можно направленно регулировать путем подбора составляющих компонентов и тем самым получать материалы с требуемыми уникальными эксплуатационными и технологическими свойствами. Благодаря этому они широко применяются в высокотехнологичных отраслях. Наиболее распространены полимерные композиционные материалы (ПКМ), мировой рынок которых непрерывно растет. В России основной объем потребления ПКМ составляют стекло- и углепластики. Прочностные свойства таких материалов максимально реализуются при армировании непрерывными волокнами [10, 11].

В настоящее время наблюдается увеличение объема применения неметаллических конструкционных материалов относительно металлических. Изделия из ПКМ обладают высокой прочностью в сочетании с меньшей, чем у изделий из металла, массой. За счет этого преимущества они активно и успешно используются в авиационной отрасли. Если в конце прошлого века объем применения ПКМ в летательных аппаратах составлял 10–15 %, то в последнее время он достиг 60 % и более в пилотируемых аппаратах, 80 % и более – в беспилотных (рис. 1) [12–15].

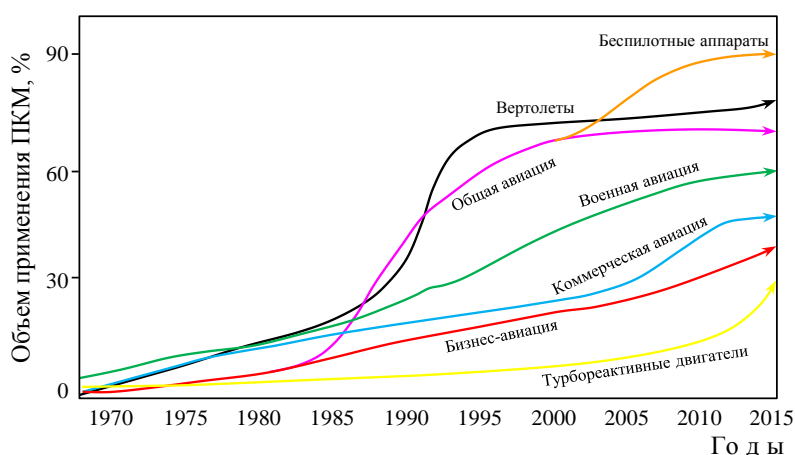


Рис. 1. Объем применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) в летательных аппаратах [15]

Работа выполнена при поддержке ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

Углепластики

Углепластик – наиболее широко используемый в аэрокосмической отрасли ПКМ, обладающий низкой тепло- и электропроводностью, невысоким температурным коэффициентом линейного расширения, износостойкостью при трении. Он отвечает основным требованиям, предъявляемым к материалам для авиационных конструкций, таким как жесткость, усталостная долговечность и коррозионная стойкость. Но главной особенностью углепластика является его исключительное соотношение прочности к массе: высокие показатели прочности и модуля упругости при растяжении сочетаются с низкой плотностью. Это позволяет производить более легкие конструкции летательных аппаратов, что, в свою очередь, повышает их энергоэффективность, увеличивает полезную нагрузку и продолжительность полета [16–18].

Например, в работе [19] рассмотрена модернизация двух вариантов БПЛА путем замены металлических отсеков конструкции корпуса и ракетного двигателя твердого топлива на аналогичные детали из углепластика. Экономия в стартовой массе обоих образцов приводит к увеличению дальности полета.

Из углепластиков часто изготавливают фюзеляж, силовой набор и обшивку крыла, различные типы оперения, шасси [16, 20–22]. Например, большая часть планера БПЛА «Орион» (рис. 2) изготовлена из ПКМ на основе углеродных волокон [23].



Рис. 2. Беспилотный летательный аппарат «Орион» [23]

Углепластики чаще всего изготавливают с применением связующих на основе эпоксидных смол. Среди видов армирующих волокон широко распространены однонаправленные жгуты и тканые полотна. Строение ткани (в частности, толщина нити и вид переплетения) влияют на характеристики готового материала [24]. Для изготовления БПЛА не только из углепластиков, но и из других ПКМ преимущественно используются относительно малозатратные методы, такие как контактное или вакуумное формование. Это обусловлено требованием низкой себестоимости и выпуском аппаратов малыми сериями [25].

В работе [21] представлен процесс изготовления композитного лонжерона крыла БПЛА, предназначенного для перевозки грузов. Для лонжерона требовалось выбрать высокопрочный легкий материал с учетом прямоугольного сечения детали и предварительно рассчитанных нагрузок, действующих на крыло. Среди четырех рассматриваемых материалов – алюминиевого сплава, равнопрочных угле-, стекло- и органопластика – углепластик оказался наиболее подходящим, так как имел самое большое соотношение прочности к плотности, а также модуль упругости, почти равный модулю упругости алюминиевого сплава. Для того чтобы материал не растрескивался, в качестве сердцевины лонжерона использовали пенопласт высокой плотности. Это также облегчило изготовление детали, поскольку выкладку слоев ПКМ можно было осуществлять прямо на сердцевину, без применения пресс-форм. Лонжерон изготавливали методом ручной выкладки углеродной ткани с использованием эпоксидного связующего и отверждали при помощи вакуумного формования. Основное достоинство этого метода – в предотвращении возникновения пузырей и складок в материале. Слои остаются прижаты друг к другу до полного отверждения. Вакуумное формование применяется для получения ПКМ с высокой долей волокна [26].

Среди относительно новых методов изготовления углепластиков для небольших БПЛА набирают популярность аддитивные технологии, позволяющие быстро и экономно создавать конструкции сложной формы. Однако детали, изготовленные методом 3D-печати на основе непрерывного волокна, имеют значительно меньшую механическую прочность, чем углепластики, произведенные традиционными способами, что в данном случае ограничивает их использование. Причинами этого являются низкая объемная доля волокна в готовых изделиях – в среднем ~20 % (по сравнению с 60 % у слоистых углепластиков), а также анизотропия свойств и пористость материала [27, 28].

К приоритетным технологиям изготовления деталей для летательных аппаратов относится препреговая технология. Препрег – это полуфабрикат ПКМ на основе тканого или жгутового наполнителя, предварительно пропитанного связующим. Процесс производства препрега позволяет точно регулировать массовую долю связующего в полуфабрикате, благодаря чему удается избежать разнотолщинности и получить стабильные физико-механические свойства в готовом отвержденном материале. Препреги выпускают на различных типах связующих – как для автоклавного формования, так и для пропитки под вакуумом. Большая часть углепластиков в авиационных конструкциях изготовлена с использованием препрегов [29–34].

В работе [20] из препрега углепластика с однонаправленной укладкой волокна на основе эпоксидного связующего изготовлен предварительно спроектированный элемент шасси для БПЛА. Деталь (рис. 3) выложена из 12 слоев материала в стальную форму и отверждена в горячем прессе. Процесс отверждения под давлением включал в себя две стадии:

- выдержку при 80 °С продолжительностью 30 мин, в течение которой связующее размягчалось и полностью пропитывало волокно;
- выдержку при 120 °С продолжительностью 90 мин, во время которой происходило отверждение связующего.



Рис. 3. Элемент шасси БПЛА из углепластика [20]

В работе [22] для изготовления крыла БПЛА-планера использован препрег с эпоксидным связующим и однонаправленным углеродным наполнителем марки Gurit SE84LV. Материал выбрали из-за высокой прочности, жесткости и простоты создания из него многоэлементных деталей. Крыло состоит из нижней и верхней частей обшивки со встроенными в них лонжеронами и внутренней ферменной конструкции, обеспечивающей сдвиговую прочность и поддержку обшивки (рис. 4). Все составляющие части крыла отверждали при помощи вакуумного формования совместно за один цикл. Таким образом, шестиметровая деталь получена без вторичных операций (сборка, склеивание). Такой метод позволяет сократить время и стоимость изготовления композитных конструкций.

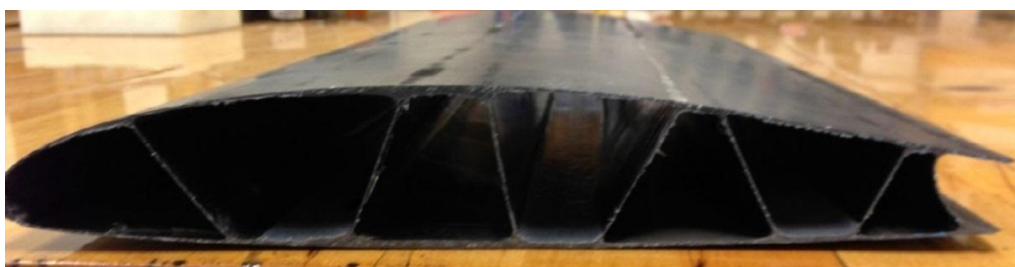


Рис. 4. Поперечное сечение крыла БПЛА-планера из углепластика [22]

В НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ разработаны клеевые препреги – материалы, для изготовления которых применяют связующие расплавного типа на основе составов высокопрочных и термостойких клеев (рис. 5). Главная их особенность – возможность сборки слоистых и сотовых конструкций простой и сложной кривизны за одну технологическую операцию. Готовая деталь герметична, обладает высокими прочностными свойствами, трещиностойкостью и весовой эффективностью. Клеевые связующие сочетают в себе реологические характеристики обычных связующих и адгезионные свойства клеев, отличаются высокой жизнеспособностью. Ассортимент клеевых препрегов расширяется благодаря применению различных по составу и свойствам клеевых композиций, а также разных видов наполнителей: жгутов, лент, тканей из углеродных и стеклянных волокон.

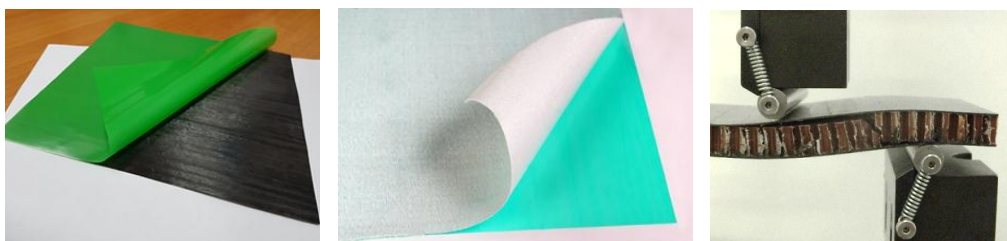


Рис. 5. Материалы, разработанные в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, и их применение в конструкции

Среди клеевых препрегов с углеродными наполнителями (марка КМКУ) можно выделить материалы с рабочей температурой 150 °С на основе связующего ВСК-14-3: препрег КМКУ-3м.150.УМТ49, имеющий в своем составе жгуты российского производства марки УМТ49S-12К, и препрег КМКУ-3м.150.СЫТ49(S), имеющий в своем составе жгуты марки СЫТ49(S)-12К производства КНР. Переработка препрега КМКУ-3м.150.УМТ49 в изделие возможна как ручным, так и автоматизированным методом (метод АТЛ). Среди препрегов марки КМКУ с рабочей температурой 120 °С следует отметить препрег КМКУ-2м.120.Э0,1 на основе углеродной ленты ЭЛУР-П-КП [35–38]. Свойства углепластиков на основе вышеперечисленных препрегов приведены в табл. 1. Материалы могут использоваться для изготовления сложных деталей фюзеляжа БПЛА.

Таблица 1

**Физико-механические свойства при температуре 20 °С
углепластиков из препрегов марок КМКУ**

Свойства	Значения свойств для препрега марки		
	КМКУ-3м.150.УМТ49	КМКУ-3м.150.СЫТ49(S)	КМКУ-2м.120.Э0,1
Предел прочности при растяжении, МПа	1780	1810	880
Модуль упругости при растяжении, ГПа	127	120	113
Предел прочности при сжатии, МПа	1225	1126	880
Предел прочности при изгибе, МПа	2215	2237	1200
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа	102	96	73
Предел прочности при сдвиге в плоскости листа, МПа	103	83	–
Толщина монослоя, мм	0,13–0,14		0,10–0,11
Максимальная рабочая температура, °С	150		120

Стеклопластики

Если дорогостоящий углепластик чаще используется для изготовления высоконагруженных элементов конструкций военных БПЛА, то для гражданских и исследовательских целей подходит и более дешевый композиционный материал – стеклопластик (марка КМКС). Несмотря на меньшую стоимость, стеклопластики обладают высокой прочностью, гибкостью, жесткостью и стойкостью к химическому воздействию, а также вибростойкостью, радиопрозрачностью, тепло- и электроизоляционными свойствами. Такой набор характеристик в сочетании с плотностью, почти в 4 раза меньшей, чем у стали, делает этот материал универсальным [39–41].

В качестве связующего для стеклопластиков наиболее часто применяются эпоксидные, полиэфирные, винилэфирные и фенольные смолы. Варьирование характеристик таких ПКМ возможно путем применения различных видов стеклянных наполнителей, таких как нити, жгуты, ткани и другие.

Механические свойства ПКМ зависят от прочности его составляющих – наполнителя и матрицы – и от прочности связи между ними, которая определяется адгезией связующего к наполнителю и величиной усадки полимера при отверждении. Максимальная прочность связи может быть обеспечена только при условии достаточной

пропитки стеклянного наполнителя связующим [39, 40]. Это наглядно демонстрирует исследование, описанное в работе [41]. С целью подбора наиболее подходящего состава стеклопластика для изготовления БПЛА изготовили 4 вида образцов: на основе полиэфирной смолы и стеклоткани атласного плетения, полиэфирной смолы и стеклоткани саржевого плетения, эпоксидной смолы (Biresin CR 122) и стеклоткани атласного плетения, эпоксидной смолы и стеклоткани саржевого плетения. После отверждения по требуемым режимам все образцы прошли по два типа механических испытаний: на растяжение и на сопротивление повреждению при ударе. Большую прочность при растяжении показали образцы на основе стеклоткани саржевого плетения, так как образцы с тканью атласного плетения были недостаточно пропитаны, что наблюдалось и на этапе их изготовления. Из двух образцов с саржевым плетением большее значение прочности было у образца на основе эпоксидной смолы. Наибольшую ударопрочность также показали образцы со стеклотканью саржевого плетения и эпоксидной матрицей. Таким образом, этот состав композиционного материала выбрали в качестве оптимального.

На механические свойства ПКМ влияет также ориентация слоев наполнителя. В зависимости от места расположения деталей в частях летательного аппарата и нагрузок, которые они испытывают при эксплуатации, предпочтительнее использовать тот или иной тип укладки материала. Например, расчеты в работе [42] показали, что для деталей, испытывающих большие температурные нагрузки (например, фюзеляж), лучше подходит двунаправленная укладка ($0^\circ/90^\circ$), а для деталей, подверженных вибрациям (крылья, шасси), – угловая укладка ($+45^\circ/-45^\circ$).

Лопасть винта – одна из деталей, при изготовлении которых стеклопластики применяются наиболее часто. Ресурс и усталостная прочность у композитных лопастей больше, чем у металлических, что особенно важно при работе детали в условиях переменных нагрузок [40]. Лопасть из стеклопластика на основе ткани T25(BM)-78 для БПЛА вертолетного типа разработана в работе [43] (рис. 6).

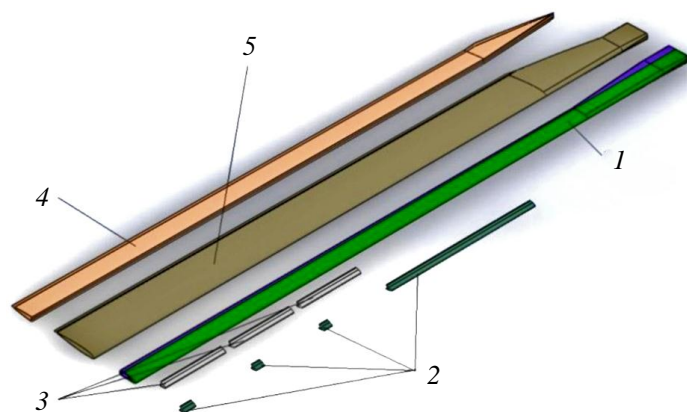


Рис. 6. Конструкция лопасти из стеклопластика для БПЛА вертолетного типа:
1 – лонжерон; 2 – наполнитель носка; 3 – свинцовые противовесы; 4 – наполнитель хвостика; 5 – обшивка [43]

Основной задачей при проектировании этой детали был выбор количества и направления укладки слоев ПКМ таким образом, чтобы система соосных несущих винтов аппарата выдержала требуемые нагрузки. Результаты расчетов показали, что конструкция лопасти наиболее эффективна при использовании 16 слоев материала с комбинацией направлений ориентации ($0^\circ/90^\circ$) и ($+45^\circ/-45^\circ$), при этом максимальное количество слоев с угловой укладкой ($+45^\circ/-45^\circ$) не должно превышать двух.

В работе [44] была поставлена задача проектирования еще одного вида несущей конструкции БПЛА – рамы квадрокоптера (рис. 7).



Рис. 7. Готовая рама квадрокоптера из стеклопластика [44]

Полученная деталь должна выдерживать эксплуатацию в условиях неблагоприятной погоды и перегрузок дополнительной массой, обладать достаточной для этого прочностью и при этом не быть слишком тяжелой. В прочностном расчете сравнили три материала: дюралюминий Д16-Т, стеклотекстолит КАСТ-В и органическое стекло СО-95-К. По итогам расчета наиболее подходящим по соотношению «прочность/масса» оказался стеклотекстолит, его использовали для изготовления рамы. Данный материал, помимо оптимальных механических свойств, удобен в обработке – можно использовать различные методы, такие как фрезерование, лазерная и гидроабразивная резка.

Радиопрозрачность стеклопластиков делает их незаменимыми материалами при изготовлении радиотехнических деталей летательных аппаратов. Их использование не только снижает массу конструкции, но и повышает ее технические характеристики благодаря своим диэлектрическим свойствам [40]. В беспилотных аппаратах активно используются радиопрозрачные обтекатели антенн [25] и крышки люков [45] из стеклопластиков, которые должны обеспечивать защиту оборудования от влияния внешней среды и минимальные искажения электромагнитных волн [40].

Изготовление деталей традиционным методом ручной выкладки, ручная сборка аппаратов и использование для ПКМ связующих холодного отверждения – длительные и трудозатратные процессы. В случае, когда необходимо масштабировать производство БПЛА, возможно применение других, более производительных технологий. В работе [45] предлагается увеличить производительность за счет проектирования конструкции «беспилотника» с повышенной степенью интегральности и сокращения цикла формования деталей. Проведен эксперимент по отверждению образцов из клеевого препрега марки КМКС-1.80.Т10.37 по ускоренным циклам (рис. 8) при повышенных температурах:

– цикл 1 – при температуре 140 °С в течение 60 мин с общей продолжительностью 150 мин;

– цикл 2 – при температуре 150 °С в течение 45 мин с общей продолжительностью 120 мин.

Стандартный цикл отверждения данного препрега включает в себя ступенчатый нагрев с выдержкой при температуре 80 °С в течение 60 мин и последующей выдержкой при температуре 125 °С в течение 120 мин. Общая продолжительность цикла составляет 4 ч 45 мин. У отвержденных образцов определили модуль упругости и коэффициент Пуассона. Значения механических свойств стеклопластиков, отвержденных по

ускоренным циклам, оказались меньше, чем значения для стеклопластика, отвержденного по стандартному циклу. Это необходимо учитывать при интенсификации технологического процесса.

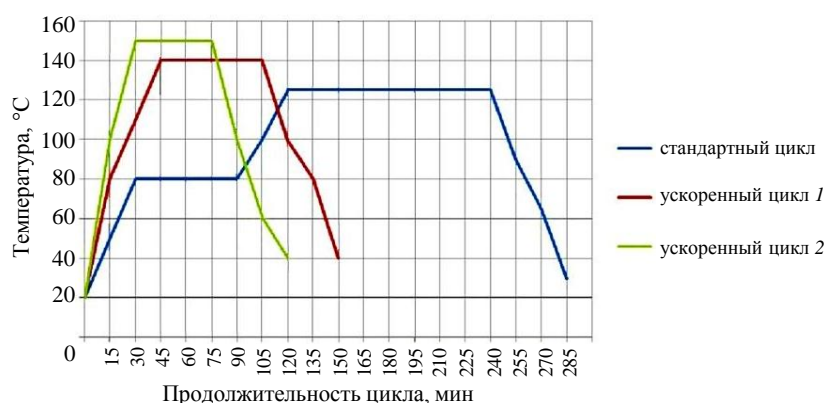


Рис. 8. Схема циклов отверждения препрега КМКС-1.80.Т10.37 [45]

Для изготовления радиопрозрачных деталей БПЛА могут быть использованы и другие препреги марки КМКС. В табл. 2 представлены свойства стеклопластиков из клеевых препрегов на основе связующего ВСК-14-2м и различных марок стеклотканей: Т-10, Т-15, высокомодульных Т-60 и Т-64 [37].

Таблица 2

Характеристики стеклопластиков препрегов марок КМКС-2м.120

Свойства	Значения свойств для клеевого препрега марки			
	КМКС-2м.120.Т10	КМКС-2м.120.Т15	КМКС-2м.120.Т60	КМКС-2м.120.Т64
Рабочие температуры, °C	-60 ÷ +120	-60 ÷ +120	-60 ÷ +120	-60 ÷ +120
Плотность, г/см ³	1,80–1,90	1,50–1,60	1,70–1,80	1,7–1,8
Прочность при растяжении, МПа	570	385	1500	750
Модуль упругости при растяжении, ГПа	27,5	19,2	42,0	31,0
Прочность при сжатии, МПа	555	560	900	720
Прочность при изгибе, МПа	760	438	1400	940
Ударная вязкость, кДж/м ²	240	160	210	230
Прочность при межслойном сдвиге, МПа	69	55	80	77
Диэлектрическая проницаемость при частоте 10 ⁶ Гц	4,76	4,19	4,46	4,82
Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 10 ⁶ Гц	0,015	0,017	0,024	0,027

Благодаря высоким удельным прочностным и упругим характеристикам и хорошей технологичности ПКМ из препрегов КМКС и КМКУ на основе клеевых связующих внедрены в конструкцию многих изделий авиационной и космической техники ведущих конструкторских бюро. По своим свойствам они не уступают зарубежным аналогам [37, 38, 46].

К деталям и агрегатам, изготавливаемым с применением ПКМ из препрегов на основе клеевых связующих, относятся панели фюзеляжа, створки шасси, обтекатели, отдельные детали механизации крыла и оперения, воздухозаборный канал сотовой конструкции и т. д. [47].

Заключения

Создание новых БПЛА с улучшенными характеристиками по высоте и скорости полета наряду с уменьшением их радиозаметности – задача, активно реализуемая в настоящее время. Разработка и внедрение в конструкцию БПЛА новых композиционных материалов и технологий их производства являются одним из приоритетных направлений разработки и модернизации таких аппаратов, без которых невозможно их дальнейшее совершенствование. На протяжении последних двух десятков лет наблюдается постоянное увеличение доли использования ПКМ в конструкции БПЛА, что обусловлено главным образом требованиями по снижению массы и увеличению полезной нагрузки. В настоящее время из ПКМ можно изготавливать абсолютное большинство деталей для «беспилотников».

При изготовлении БПЛА широкое применение нашли углепластики благодаря высокой прочности и жесткости при низкой плотности, что делает их эффективным конструкционным материалом. Объем потребления стеклопластиков тоже остается на высоком уровне: физико-механические и диэлектрические свойства позволяют им успешно конкурировать с металлами. Препреговая технология, часто используемая для изготовления деталей из угле- и стеклопластиков, отличается удобством применения и возможностью создания конструкций сложной формы.

Одним из перспективных направлений при проектировании БПЛА является использование ПКМ на основе клеевых препрегов с углеродными и стеклянными наполнителями разработки НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ. Данные материалы обладают достоинствами ранее разработанных препрегов, но за счет использования клеевых матриц позволяют оптимизировать технологию сборки высоконагруженных сотовых и слоистых конструкций из неметаллических материалов, снизить трудоемкость одновременно с увеличением производительности, а также повысить ресурс, живучесть и герметичность конструкций.

Список источников

1. Филиппов А.А., Олейников Е.П. История и перспективы применения беспилотных летательных аппаратов // Решетневские чтения: материалы XXIII Междунар. науч.-практич. конф.: в 2-х ч. Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2019. Ч. 1. С. 463–464.
2. Шевыренков М.Ю. Анализ мирового рынка высотных беспилотных летательных аппаратов большой продолжительности полета // Экономические стратегии. 2016. № 2. С. 2–11.
3. Ленских А.Н., Сергеев М.Ю., Углянский В.В. Тактическое применение БПЛА // Повышение обороноспособности государства 2022: материалы заочной науч. конф. Санкт-Петербург: Полтораки, 2022. С. 160–165.
4. Згировская Е.Д. Беспилотная авиация. Что ждет рынок, и что рынок ждет // Крылья Родины. 2020. № 11–12. С. 10–15.
5. Костин А.С. Классификация гражданских беспилотных летательных аппаратов и сферы их применения // Системный анализ и логистика. 2019. № 1 (19). С. 70–80.
6. Вытовтов А.В., Калач А.В., Разиньков С.Ю. Современные беспилотные летательные аппараты // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 4. С. 70–74.
7. Евтодьева М.Г., Целицкий С.В. Беспилотные летательные аппараты военного назначения: тенденции в сфере разработок и производства // Пути к миру и безопасности. 2019. № 2 (57). С. 104–111.
8. Кузнецов Г.А., Кудрявцев И.В., Крылов Е.Д. Ретроспективный анализ, современное состояние и тенденции развития отечественных беспилотных летательных аппаратов // Инженерный журнал: наука и инновации. 2018. № 9 (81). URL: <http://www.engjournal.ru> (дата обращения: 17.01.2023). DOI: 10.18698/2308-6033-2018-9-1801.
9. Яковлев А.Г., Баранов Д.Е. О современном состоянии и тенденции применения новых материалов и технологий в конструкциях беспилотных летательных аппаратов // Вектор науки ТГУ. 2014. № 1. С. 71–74.
10. Каблов Е.Н. Композиты: сегодня и завтра // Металлы Евразии. 2015. № 1. С. 36–39.

11. Дориомедов М.С. Российский и мировой рынок полимерных композитов (обзор) // Труды ВИАМ. 2020. № 6–7 (93). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 18.01.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-29-37.
12. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2012. № 5. С. 231–242.
13. Колобков А.С. Полимерные композиционные материалы для различных конструкций авиационной техники (обзор) // Труды ВИАМ. 2020. № 6-7 (89). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 18.01.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-38-44.
14. Ларин С.Н., Ноакк Н.В., Соколов Н.А. Конкурентные преимущества российского оборонно-промышленного комплекса и их реализация в стратегиях импортозамещения // Экономика и бизнес: теория и практика. 2019. № 7. С. 97–103. DOI: 10.24411/2411-0450-2019-11084.
15. Хрульков А.В., Григорьев М.М., Язвенко Л.Н. Перспективы внедрения безавтоклавных технологий для изготовления конструкционных материалов // Труды ВИАМ. 2016. № 2 (38). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 18.01.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-2-6-6.
16. Мишкин С.И. Применение углепластиков в конструкциях беспилотных аппаратов (обзор) // Труды ВИАМ. 2022. № 5 (111). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 18.01.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-5-87-95.
17. Zhu L., Li N., Childs P.R.N. Light-weighting in aerospace component and system design // Propulsion and Power Research. 2018. Vol. 7. Is. 2. P. 103–119. DOI: 10.1016/j.jprr.2018.04.001.
18. Anand S., Mishra A.K. High-Performance Materials used for UAV Manufacturing: Classified Review // International Journal of All Research Education and Scientific Methods (IJARESM). 2022. Iss. 7. Vol. 10. P. 2811–2819.
19. Петраш В.Я., Туркин И.К. Оценка эффективности перспективных направлений модернизации беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. 2011. № 49. Ст. 23. URL: <https://trudymai.ru> (дата обращения: 15.02.2023).
20. Liang Y.-C., Chin P.-C., Sun Y.-P., Wang M.-R. Design and Manufacture of Composite Landing Gear for a Light Unmanned Aerial Vehicle // Applied Science. 2021. Vol. 11. Is. 2. Art. 509. DOI: 10.3390/app11020509.
21. Araujo P.M.N., Costa T.R., Silva E.C. Design and manufacturing process of a UAV composite wing spar // 4th Brazilian Conference on Composite Materials. 2018. URL: <http://bccm4.com.br/proceedings/fullpapers/p067.pdf> (дата обращения: 15.02.2023). DOI: 10.21452/bccm4.2018.09.06.
22. Patterson J.B., Grenestedt J.L. Manufacturing of a composite wing with internal structure in one cure cycle // Composite Structures. 2018. No. 206. P. 601–609.
23. Беспилотный летательный аппарат «Орион». URL: <https://kronshtadt.ru/products/bespilotnyj-kompleks-orion> (дата обращения: 13.02.2023).
24. 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.
25. Каханчик-Пилиного Е., Свистунова А., Лузан М., Бакаев А. Применение перспективных композиционных материалов в беспилотных авиационных комплексах // Наука и инновации. 2017. № 6 (172). С. 34–38.
26. ElFaham M.M., Mostafa A.M., Nasr G.M. Unmanned aerial vehicle (UAV) manufacturing materials: Synthesis, spectroscopic characterization and dynamic mechanical analysis (DMA) // Journal of Molecular Structure. 2020. Vol. 1201. Art. 127211. DOI: 10.1016/j.molstruc.2019.127211.
27. Goh G.D., Agarwala S., Goh G.L., Dikshit V., Yeong W.Y. Additive manufacturing in unmanned aerial vehicles (UAVs): Challenges and potential // Aerospace Science and Technology. 2017. Vol. 63. P. 140–151. DOI: 10.1016/j.ast.2016.12.019.
28. Azarov A., Antonov F., Golubev M., Khaziev A., Ushanov S. Composite 3D printing for the small size unmanned aerial vehicle structure // Composites Part B. 2019. No. 169. P. 157–163. DOI: 10.1016/j.compositesb.2019.03.073.

29. 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. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-3-67-71.
30. Вешкин Е.А., Сатдинов Р.А., Постнов В.И., Стрельников С.В. Оценка влияния длительности и условий хранения на свойства препрега и ПКМ на его основе // *Труды ВИАМ*. 2017. № 8 (56). Ст. 10. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.03.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-8-10-10.
31. Мухаметов Р.Р., Петрова А.П. Термореактивные связующие для полимерных композиционных материалов (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. 2019. № 3 (56). С. 48–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-48-58.
32. Мосиук В.Н., Томчани О.В. Оценка свойств стеклопластиков на основе эпоксибисмалеимидного связующего, полученных по различным неавтоклавному технологиям формования // *Авиационные материалы и технологии*. 2019. № 2 (55). С. 47–52. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-2-47-52.
33. Каблов Е.Н. Из чего сделать будущее? Материалы нового поколения, технологии их создания и переработки – основа инноваций // *Крылья Родины*. 2016. № 5. С. 8–18.
34. Сидорина А.И. Мультиаксиальные углеродные ткани в изделиях авиационной техники (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. 2021. № 3 (64). Ст. 10. URL: <https://journal.viam.ru> (дата обращения: 27.02.2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-3-105-116.
35. Каблов Е.Н. Без новых материалов – нет будущего // *Металлург*. 2013. № 12. С. 4–8.
36. Дементьева Л.А., Сереженков А.А., Бочарова Л.И., Лукина Н.Ф., Куцевич К.Е., Петрова А.П. Свойства композиционных материалов на основе клеевых препрегов // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2012. № 6. С. 19–24.
37. Куцевич К.Е., Сидорина А.И., Тюменева Т.Ю., Дементьева Л.А. Современные полимерные композиционные материалы на основе клеевых препрегов // *Химические волокна*. 2019. № 5. С. 32–37.
38. Старков А.И., Куцевич К.Е., Тюменева Т.Ю. Разработка композиционного материала клеевого на основе альтернативного углеродного жгутового наполнителя марки UMT49S-12K-EP и клеевого связующего марки ВСК-14-3 // *Труды ВИАМ*. 2020. № 6–7 (89). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.03.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-62-71.
39. Sathishkumar T.P., Satheeshkumar S., Naveen J. Glass fiber-reinforced polymer composites – a review // *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 2014. Vol. 33 (13). P. 1258–1275.
40. Давыдова И.Ф., Кавун Н.С. Стеклопластики – многофункциональные композиционные материалы // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. № 5. С. 253–260.
41. Condruz M.R., Paraschiv A., Deutschlander A., Mîndru I. Assessment of GFRP Mechanical Properties in Order to Determinate Suitability for UAV Components // *Key Engineering Materials*. 2020. Vol. 834. P. 57–66.
42. Shivanagere A., Sharma S.K., Goyal P. Modelling of glass fibre reinforced polymer (GFRP) for aerospace applications // *Journal of Engineering Science and Technology*. 2018. Vol. 13. No. 11. P. 3710–3728.
43. Карабут В.В., Дудник В.В., Самсонов И.К. Выбор параметров несущей системы для транспортного БПЛА вертолетного типа // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2019. № 2. С. 221–231. DOI: 10.23683/2311-3103-2019-2-221-231.
44. Ермаченков Д.И., Фазли Т.Г.К., Петренко Е.О. Разработка конструкции рамы квадрокоптера для удаленного мониторинга объектов // *Науковедение*. 2016. Т. 8. № 6. URL: <http://naukovedenie.ru> (дата обращения: 24.03.2023). DOI: 10.15862/45TVN616.
45. Халиулин В.И., Сунгатуллин Р.Н., Батраков В.В., Сахбутдинова В.Р. Исследование процесса интенсивного формования композитных элементов беспилотного летательного аппарата // *Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева*. 2016. № 1. С. 67–71.
46. Куцевич К.Е., Дементьева Л.А., Лукина Н.Ф., Тюменева Т.Ю. Клеевые препреги – перспективные материалы для деталей и агрегатов из ПКМ // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № 5. С. 379–387. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-5-379-387.

47. 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. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 04.04.2023). DOI: 10.15577/20307-6046-2014-0-8-6-6.

References

1. Filippov A.A., Oleinikov E.P. History and prospects for the use of unmanned aerial vehicles. *Reshetnev readings: Proceedings of the XXIII Intern. scientific-practical. Conf.: in 2 parts.* Krasnoyarsk: SibGU M.F. Reshetnev, 2019, part 1, pp. 463–464.
2. Shevyrenkov M.Yu. Analysis of the world market for high-altitude unmanned aerial vehicles of long flight duration. *Ekonomicheskiye strategii*, 2016, no. 2, pp. 2–11.
3. Lenskikh A.N., Sergeev M.Yu., Uglyansky V.V. Tactical use of UAVs. *Improving the defense capability of the state 2022: Materials of the correspondence scientific.* St. Petersburg: Poltorak, 2022, pp. 160–165.
4. Zgirovskaya E.D. Unmanned aircraft. What the market is waiting for, and what the market is waiting for. *Krylya Rodiny*, 2020, no. 11–12, pp. 10–15.
5. Kostin A.S. Classification of civil unmanned aerial vehicles and their scope. *System analysis and logistics*, 2019, no. 1 (19), pp. 70–80.
6. A. V. Vytovtov, A. V. Kalach, and S. Yu. Modern unmanned aerial vehicles. *Vestnik BSTU im. V.G. Shukhov*, 2015, no. 4, pp. 70–74.
7. Evtodeva M.G., Tselitsky S.V. Unmanned aerial vehicles for military purposes: trends in development and production. *Puti k miru i bezopasnosti*, 2019, no. 2 (57), pp. 104–111.
8. Kuznetsov G.A., Kudryavtsev I.V., Krylov E.D. Retrospective analysis, current state and development trends of domestic unmanned aerial vehicles. *Engineering Journal: Science and Innovations*, 2018, no. 9 (81). Available at: <http://www.engjournal.ru> (accessed: January 17, 2023). DOI: 10.18698/2308-6033-2018-9-1801.
9. Yakovlev A.G., Baranov D.E. On the current state and trends in the use of new materials and technologies in the design of unmanned aerial vehicles. *Vektor nauki TGU*, 2014, no. 1, pp. 71–74.
10. Kablov E.N. Composites: today and tomorrow. *Metally Evrazii*, 2015, no. 1, pp. 36–39.
11. Doriomedov M.S. Russian and world market of polymer composites (review). *Trudy VIAM*, 2020, no. 6–7 (89), paper no. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: January 18, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-67-29-37.
12. Grashhenkov D.V., Chursova L.V. Strategy of development of composite and functional materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2012, no. S, pp. 231–242.
13. Kolobkov A.S. Polymer composite materials for various aircraft structures (review). *Trudy VIAM*, 2020, no. 6–7 (89), paper no. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: January 18, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-38-44.
14. Larin S.N., Noakk N.V., Sokolov N.A. Competitive advantages of the Russian military-industrial complex and their implementation in import substitution strategies. *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika*, 2019, no. 7, pp. 97–103. DOI: 10.24411/2411-0450-2019-11084.
15. Khrulkov A.V., Grigorev M.M., Yazvenko L.N. Implementation perspectives without autoclave technologies for manufacturing of constructional materials (review). *Trudy VIAM*, 2016, no. 2 (38), paper no. 06. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: January 18, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-2-6-6.
16. Mishkin S.I. Application of carbon fiber plastics in constructions of pilotless devices (review). *Trudy VIAM*, 2022, no. 5 (111), paper no. 08. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: January 18, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-5-87-95.
17. Zhu L., Li N., Childs P.R.N. Light-weighting in aerospace component and system design. *Propulsion and Power Research*. 2018, vol. 7, is. 2, pp. 103–119. DOI: 10.1016/j.jprr.2018.04.001.
18. Anand S., Mishra A.K. High-Performance Materials used for UAV Manufacturing: Classified Review. *International Journal of All Research Education and Scientific Methods*, 2022, is. 7, vol. 10, pp. 2811–2819.

19. Petrash V.Ya., Turkin I.K. Evaluation of the effectiveness of promising areas for the modernization of unmanned aerial vehicles. *Trudy MAI*, 2011, no. 49, art. 23. Available at: <https://trudymai.ru> (accessed: February 15, 2023).
20. Liang Y.-C., Chin P.-C., Sun Y.-P., Wang M.-R. Design and Manufacture of Composite Landing Gear for a Light Unmanned Aerial Vehicle. *Applied Science*, 2021, vol. 11, is. 2, art. 509. DOI: 10.3390/app11020509.
21. Araujo P.M.N., Costa T.R., Silva E.C. Design and manufacturing process of a UAV composite wing spar. *4th Brazilian Conference on Composite Materials*. 2018. Available at: <http://bccm4.com.br/proceedings/fullpapers/p067.pdf> (accessed: February 15, 2023). DOI: 10.21452/bccm4.2018.09.06.
22. Patterson J.B., Grenestedt J.L. Manufacturing of a composite wing with internal structure in one cure cycle. *Composite Structures*, 2018, no. 206, pp. 601–609.
23. Unmanned aerial vehicle "Orion" Available at: <https://kronshtadt.ru/products/bespilotnyj-kompleks-orion> (accessed: February 13, 2023).
24. 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.
25. Kakhanchik-Pilinoga E., Svistunova A., Luzan M., Bakaev A. Application of promising composite materials in unmanned aerial systems. *Nauka i innovatsii*, 2017, no. 6 (172), pp. 34–38.
26. ElFaham M.M., Mostafa A.M., Nasr G.M. Unmanned aerial vehicle (UAV) manufacturing materials: Synthesis, spectroscopic characterization and dynamic mechanical analysis (DMA). *Journal of Molecular Structure*, 2020, vol. 1201, art. 127211. DOI: 10.1016/j.molstruc.2019.127211.
27. Goh G.D., Agarwala S., Goh G.L., Dikshit V., Yeong W.Y. Additive manufacturing in unmanned aerial vehicles (UAVs): Challenges and potential. *Aerospace Science and Technology*, 2017, vol. 63, pp. 140–151. DOI: 10.1016/j.ast.2016.12.019.
28. Azarov A., Antonov F., Golubev M., Khaziev A., Ushanov S. Composite 3D printing for the small size unmanned aerial vehicle structure. *Composites Part B*, 2019, no. 169, pp. 157–163. DOI: 10.1016/j.compositesb.2019.03.073.
29. Grigorev M.M., Kogan D.I., Gusev Yu.A., Gurevich Ya.M. Features of producing composites by vacuum molding of prepreg. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2014, no. 3, pp. 67–71. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-3-67-71.
30. Veshkin E.A., Satdinov R.A., Postnov V.I., Strelnikov S.V. Evaluation of effect of duration and storage condition on the properties of prepreg and PCM based on it. *Trudy VIAM*, 2017, no. 8, paper no. 10. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: March 01, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-8-10-10.
31. Mukhametov R.R., Petrova A.P. Thermosetting binders for polymer composites (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, no. 3 (56), pp. 48–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-48-58.
32. Mosiyuk V.N., Tomchani O.V. Evaluation of properties of glass-fibre-reinforced plastics based on epoxybisma-leimide resin, produced by different non-autoclave molding techniques. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, no. 2 (55), pp. 47–52. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-2-47-52.
33. Kablov E.N. What is the future to be made of? Materials of a new generation, technologies for their creation and processing - the basis of innovation. *Krylya Rodiny*, 2016, no. 5, pp. 8–18.
34. 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: February 27, 2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-3-105-116.
35. Kablov E.N. Without new materials, there is no future. *Metallurg*, 2013, no. 12, pp. 4–8.
36. Dementeva L.A., Serezhenkov A.A., Bocharova L.I., Lukina N.F., Kutsevich K.E., Petrova A.P. Properties of composite materials based on adhesive prepreps. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2012, no. 6, pp. 19–24.

37. Kutsevich K.E., Sidorina A.I., Tyumeneva T.Yu., Dement'eva L.A. Modern polymer composite materials based on adhesive prepregs. *Khimicheskkiye volokna*, 2019, no. 5, pp. 32–37.
38. Starkov A.I., Kutsevich K.E., Tyumeneva T.Yu. Development of adhesive compositematerial based on UMT49S-12K-EP alternative carbon filler and VSK-14-3 adhesivebinder. *Trudy VIAM*, 2020, no. 6–7 (89), paper no. 07. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: March 16, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-62-71.
39. Sathishkumar T.P., Satheeshkumar S., Naveen J. Glass fiber-reinforced polymer composites – a review. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2014, vol. 33 (13), pp. 1258–1275.
40. Davydova I.F., Kavun N.S. Fibreglasses – multipurpose composite materials. *Aviacionnyye materialy i tehnologii*, 2012, no. S, pp. 253–260.
41. Condruz M.R., Paraschiv A., Deutschlander A., Mîndru I. Assessment of GFRP Mechanical Properties in Order to Determinate Suitability for UAV Components. *Key Engineering Materials*, 2020, vol. 834, pp. 57–66.
42. Shivanagere A., Sharma S.K., Goyal P. Modelling of glass fibre reinforced polymer (GFRP) for aerospace applications. *Journal of Engineering Science and Technology*, 2018, vol. 13, no. 11, pp. 3710–3728.
43. Karabut V.V., Dudnik V.V., Samsonov I.K. Choice of parameters of the carrier system for a transport helicopter-type UAV. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskkiye nauki*, 2019, no. 2, pp. 221–231. DOI: 10.23683/2311-3103-2019-2-221-231.
44. Ermachenkov D.I., Fazli T.G.K., Petrenko E.O. Development of a quadrocopter frame design for remote monitoring of objects. *Naukovedenie*, 2016, vol. 8, no. 6. Available at: <http://naukovedenie.ru> (accessed: March 24, 2023). DOI: 10.15862/45TVN616.
45. Khaliulin V.I., Sungatullin R.N., Batrakov V.V., Sakhbutdinova V.R. Study of the process of intensive molding of composite elements of an unmanned aerial vehicle. *Vestnik KSTU im. A.N. Tupoleva*, 2016, no. 1, pp. 67–71.
46. Kutsevich K.E., Dementeva L.A., Lukina N.F., Tyumeneva T.Yu. Adhesive prepregs as promising materials for parts and assemblies from polymeric composite materials. *Aviacionnyye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 379–387. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-379-387.
47. Dementeva L.A., Serezhenkov A.A., Lukina N.F., Kutsevich K.E. Properties and appointment of composite materials based on adhesive prepregs. *Trudy VIAM*, 2014, no. 8, paper no. 06. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: April 04, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-8-6-6.

Информация об авторах

Путилина Полина Максимовна, инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Куцевич Кирилл Евгеньевич, начальник лаборатории, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Исаев Алексей Юрьевич, заместитель начальника лаборатории по науке, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Polina M. Putilina, Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Kirill E. Kutsevich, Head of Laboratory, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Alexey Yu. Isaev, Deputy Head of Laboratory of Science, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 29.05.2023; одобрена и принята к публикации после рецензирования 31.05.2023.
The article was submitted 29.05.2023; approved and accepted for publication after reviewing 31.05.2023.