

УДК 62-03

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ (БПЛА)

Костенков Владимир Александрович,

к.т.н., доцент, Московский государственный технический университет гражданской авиации, г.Москва

Глазунова Анастасия Андреевна,

студент, Московский государственный технический университет гражданской авиации, г.Москва

Солонский Никита Станиславович,

студент, Московский государственный технический университет гражданской авиации, г.Москва
solonnike12@gmail.com

Глушкова Наталья Михайловна,

студент, Московский государственный технический университет гражданской авиации, г.Москва

Аннотация

В последние годы беспилотные летательные аппараты (БПЛА) становятся все более важными в различных отраслях, включая сельское хозяйство, охрану и наблюдение, транспортировку, спасательные операции, военное дело. Ключевым фактором, влияющим на производительность и эффективность БПЛА, является выбор материалов, из которых они изготавливаются.

Учитывая условия эксплуатации и требования к весу, прочности и долговечности, композитные материалы представляют собой оптимальное решение для создания легких и прочных конструкций, которые могут эффективно выполнять поставленные задачи.

Композитные материалы, как правило, составляют комбинацию разных компонентов, таких как волокна и матрицы, что позволяет им сочетать в себе лучшие характеристики каждого из материалов. Например, углеродные волокна (CFRP) обеспечивают высокую прочность при низком весе, поэтому их использование в качестве основного материала при производстве компонентов и комплектующих БПЛА является приоритетным. Кроме того, упомянутые материалы обладают отличной устойчивостью к коррозии и усталости, что увеличивает срок службы летательных аппаратов и снижает затраты на их обслуживание. Арамидные волокна (AFRP) еще больше улучшают защитные свойства конструкций от механических повреждений, что также играет важную роль в условиях, когда БПЛА может подвергаться воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды.

Среди прочих достоинств композитных материалов можно отметить их способность быть легко формованными, что позволяет создавать сложные геометрические формы, как это требуется для повышения аэродинамических характеристик БПЛА.

Таким образом, выбор композитных материалов для проектирования БПЛА не только рационален, но и необходим для достижения необходимого технического уровня и эксплуатационных характеристик. Исследование и применение новых технологий в этой области продолжают оставаться актуальными и перспективными, несмотря на вызовы и ограничения, которые стоят перед разработчиками.

Ключевые слова: композитные материалы, современные технологии, перспективы, композиты, беспилотные летательные аппараты, БПЛА, углеродистые волокна, арамидные волокна, керамические композиты, металлокомпозиты, матричные материалы.

THE STATE OF SOCIAL AND INFRASTRUCTURAL DEVELOPMENT OF THE TERRITORIES OF THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

Kostenkov Vladimir Alexandrovich

Ph.D., Associate Professor, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow

Glazunova Anastasia Andreevna,

student, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow

Solonsky Nikita Stanislavovich,

student, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow

Glushkova Natalia Mikhailovna,

student, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow

ABSTRACT

In recent years, unmanned aerial vehicles (UAVs) have become increasingly important in various industries, including agriculture, security and surveillance, transportation, rescue operations, and the military. The key factor influencing the performance and efficiency of UAVs is the choice of materials from which they are made.

Taking into account the operating conditions and requirements for weight, strength and durability, composite materials represent the optimal solution for creating lightweight and durable structures that can effectively perform their tasks.

Composite materials, as a rule, are a combination of different components, such as fibers and matrices, which allows them to combine the best characteristics of each of the materials. For example, carbon fibers (CFRP) provide high strength with low weight, so their use as the main material in the manufacture of UAV components and components is a priority. In addition, these materials have excellent resistance to corrosion and fatigue, which increases the service life of aircraft and reduces maintenance costs. Aramid Fibers (AFRP) They further improve the protective properties of structures against mechanical damage, which also plays an important role in conditions where UAVs may be exposed to adverse environmental factors.

Among other advantages of composite materials, one can note their ability to be easily molded, which makes it possible to create complex geometric shapes, as required to improve the aerodynamic characteristics of UAVs.

Thus, the choice of composite materials for the design of UAVs is not only rational, but also necessary to achieve the required technical level and operational characteristics. Research and application of new technologies in this field continue to be relevant and promising, despite the challenges and limitations faced by developers.

Keywords: composite materials, modern technologies, prospects, composites, unmanned aerial vehicles, UAVs, carbon fibers, aramid fibers, ceramic composites, metal composites, matrix materials.

Анализ основных типов композитных материалов и их свойства

Углеродные волокна, или CFRP (углеродно-волокнистые композиты), широко применяются в технике, включая беспилотные летательные аппараты (БПЛА), благодаря уникальному сочетанию высокой прочности и малой массы. Они обладают высокой прочностью на растяжение, жёсткостью и коррозионной стойкостью, что делает их особенно ценными в авиации.

Ключевую роль в формировании свойств CFRP играет структура волокон, зависящая от технологии производства. Волокна могут быть одномодалными или многомодальными, что влияет на прочностные и упругие характеристики. Обычно они получают путём карбонизации органических предшественников, таких как акрилонитриловые волокна.

Несмотря на преимущества, CFRP имеют и недостатки. Прежде всего – высокая стоимость производства, а также низкая ударная прочность, что ограничивает их устойчивость при столкновениях или падениях.

Для улучшения эксплуатационных характеристик CFRP сочетаются с матричными материалами (эпоксидными, полиэфирными, термопластичными смолами). Важным аспектом проектирования является ориентация волокон, так как свойства композита напрямую зависят от направления действующих нагрузок [1].

Таким образом, углеродные волокна (CFRP) являются перспективным материалом для использования в конструкции БПЛА благодаря высоким эксплуатационно-техническим характеристикам.

Важно учитывать их преимущества и недостатки при проектировании и производстве, а также исследовать новые технологии, которые могут улучшить их свойства и снизить стоимость.

Арамидные волокна (AFRP – арамидно-волокнистые композиты) представляют собой класс композитных материалов с высокой прочностью, ударостойкостью и устойчивостью к механическим повреждениям. Наиболее известные типы – кевлар и номекс – широко применяются в авиации, в том числе в конструкции БПЛА.

Ключевым преимуществом AFRP по сравнению с углеродными композитами (CFRP) является высокая ударная прочность. Это делает их особенно эффективными в элементах конструкции БПЛА, подверженных динамическим нагрузкам, ударам и неблагоприятным погодным условиям. В то время как CFRP обеспечивают большую жёсткость и прочность на растяжение, арамидные волокна выигрывают в стойкости к внешним механическим воздействиям.

Тем не менее, AFRP обладают и рядом ограничений. Они имеют меньшую жёсткость и термостойкость: при температурах выше 150 °C их механические свойства начинают ухудшаться, в то время как CFRP сохраняют характеристики до 200 °C. Это ограничивает использование арамидов в условиях высокой температуры.

В конструкции БПЛА арамидные волокна часто применяются для обшивки, элементов шасси и армирующих слоёв, где высока вероятность разрушения конструкции из-за внешнего воздействия. Их использование повышает надёжность аппаратов, особенно в задачах с высоким риском, таких как военные или поисково-спасательные миссии [2].

Керамические композиты – это материалы, сочетающие керамические и волоконные компоненты, обладающие высокой термостойкостью, жёсткостью и устойчивостью к химическим воздействиям. Благодаря этим свойствам они применяются в высокотемпературных узлах БПЛА, например в деталях двигателей и теплонагруженных элементах.

Основное преимущество – способность выдерживать температуры от 500°C до 1500°C, что делает их незаменимыми при эксплуатации в условиях экстремального нагрева и наличии температурного градиента. Однако важным недостатком остаётся хрупкость: керамические композиты подвержены разрушению при ударных нагрузках, что ограничивает их использование в зонах с повышенной механической нагрузкой [3].

Металлокомпозиты – это материалы, сочетающие прочность и устойчивость металлов с лёгкостью и упругостью волоконных компонентов (например, углеродных или арамидных волокон). Такая комбинация обеспечивает высокие механические, термостойкие и антикоррозионные свойства, что делает их особенно полезными в конструкции БПЛА.

Ключевыми преимуществами являются высокая прочность на растяжение, жёсткость и устойчивость к агрессивным средам. Эти свойства позволяют создавать лёгкие и прочные элементы, способные выдерживать динамические и температурные нагрузки.

Тем не менее, как и любой другой материал, металлокомпозиты имеют свои недостатки. Одним из основных является их стоимость. Процесс производства металлокомпозитов может быть достаточно сложным и дорогим, что может ограничивать их применение в массовом производстве некоторых компонентов БПЛА. Кроме того, требуется специальная технология для соединения металлических и композитных частей, чтобы обеспечить надёжность соединений и избежать возможных дефектов, которые могут негативно сказаться на характеристиках БПЛА [4].

Матричные материалы – к наиболее распространённым относятся эпоксидные, полиэфирные и фенольные смолы, каждая из которых имеет свои уникальные характеристики и области применения.

Эпоксидные смолы – терморезистивные полимеры, отличающиеся высокой прочностью на сдвиг, хорошей адгезией и стойкостью к химическим воздействиям. Благодаря термостойкости до 250 °C они широко применяются в аэрокосмической отрасли и в БПЛА, где служат матрицей для углеродных и арамидных волокон. Основными недостатками являются высокая стоимость и длительное время отверждения.

Полиэфирные смолы являются менее дорогими и более доступными по сравнению с эпоксидными. Они обычно используются в строительных и автомобилестроительных приложениях благодаря своей хорошей механической прочности и низкой стоимости. Такие смолы обеспечивают быструю полимеризацию и могут быть использованы в условиях массового производства. Однако они менее устойчивы к высоким температурам и химическим воздействиям, что ограничивает их применение в высоконагруженных узлах БПЛА, таких как агрегаты силовой установки или элементы, подверженные коррозии.

Фенольные смолы (бакелиты) характеризуются высокой термостойкостью и диэлектрическими свойствами. Их применяют в элементах, требующих огнестойкости, например, в пассивных управляющих системах. Однако фенолоформальдегидные смолы имеют повышенную хрупкость и слабую адгезию к ряду армирующих волокон, что ограничивает спектр их применения.

Выбор матрицы существенно влияет на характеристики композита. Эпоксидные смолы обеспечивают максимальную прочность и надёжность, полиэфирные – экономичность, а фенольные – термостойкость. Осознанный подбор матричного материала с учётом условий эксплуатации и конструктивных требований является критически важным этапом при разработке БПЛА [5].

Развитие производства беспилотных летательных аппаратов (БЛА) способствует укреплению авиастроительной отрасли. На рисунке 1 представлен прогноз развития рынка беспилотных авиационных систем в России.

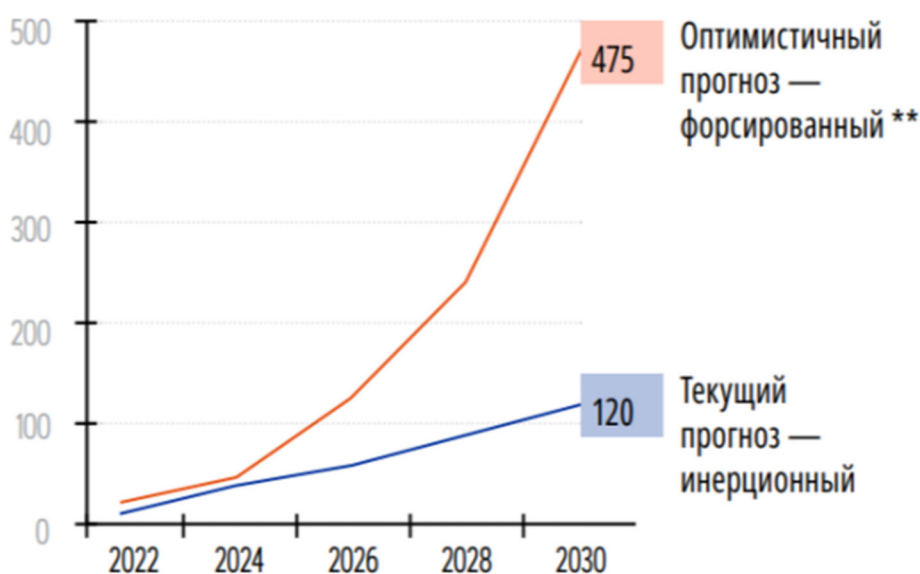


Рис. 1. Прогноз развития рынка беспилотных авиационных систем, по данным национальной технологической инициативы и Ассоциации «Аэронекст» [6]

Применение композитов в различных компонентах БПЛА и технологии их изготовления

Крыло БПЛА отвечает за аэродинамику и общую производительность. Применение композитных материалов (углеродные, арамидные волокна) обеспечивает оптимальное сочетание прочности и легкости, снижая вес и лобовое сопротивление. Это позволяет улучшить подъемную силу и маневренность, а также увеличить продолжительность полета. Композиты обладают высокой коррозионной стойкостью и долговечностью, что снижает затраты на обслуживание. Использование адаптивных форм и интеллектуальных систем управления формой крыла открывает новые возможности для повышения эффективности полета.

Фюзеляж – корпус БПЛА, где размещается оборудование и полезная нагрузка. Композиты обеспечивают высокую прочность при сниженной массе, что увеличивает маневренность и энергоэффективность. Использование углепластиков позволяет оптимально распределять нагрузки и создавать аэродинамически эффективные формы. Высокое соотношение прочности к весу композитов расширяет функциональные возможности аппарата.

Стабилизаторы и шасси обеспечивают стабильность, управляемость и безопасную посадку. Композитные материалы снижают массу и увеличивают прочность. Арамидные волокна, обладая высокой ударной прочностью, могут использоваться для создания композитных стоек шасси, которые выдерживают нагрузки при посадке и препятствуют механическим повреждениям, возникающим в процессе эксплуатации.

Композитные материалы устойчивы к коррозии и усталости, что повышает срок службы. Современные методы производства (инжекционное формование, намотка волокон) позволяют создавать точные и долговечные детали с высокой механической надежностью.

Рамы и опоры поддерживают основные системы БПЛА, обеспечивая жесткость и защиту оборудования от вибраций и ударов. Композитные сплавы демпфируют вибрации, увеличивая надежность и долговечность. Технологии намотки, инжекционного формования и 3D-печати позволяют создавать сложные геометрические формы, снижая массу и повышая грузоподъемность. Высокая устойчивость к внешним воздействиям снижает эксплуатационные затраты и продлевает срок службы.

Намотка – процесс оборачивания армирующих волокон вокруг формы для создания прочных и легких изделий. Виды намотки: прямая, параллельная, спиральная – каждый обеспечивает разные механические свойства и подходит под конкретные задачи.

Прессование – формование композитных материалов под давлением и температурой для получения плотных деталей с высокими механическими характеристиками. Ключевой этап – формирование оптимального соотношения матрицы и армирующих волокон [1].

Наплавление и экструзия – методы создания сложных деталей с точной геометрией. Наплавление наносит слой материала на поверхность, экструзия формирует детали из расплавленного композита.

Экструзия позволяет создавать компоненты со встроенными функциями, однако требует строгого контроля качества.

Инжекционное формование – внедрение расплавленного материала в форму для изготовления деталей. Позволяет создавать сложные формы, но требует дорогого оборудования и имеет ограничения по геометрии.

Новые тенденции в разработке композитных материалов

Развитие технологий стимулирует появление новых композитных материалов, особенно в области БПЛА. Одно из перспективных направлений – внедрение нанокompозитов с добавлением углеродных нанотрубок, графена и других наночастиц. Это позволяет повысить прочность, жёсткость и термостойкость конструкций при сохранении малого веса.

Актуальным становится и использование «умных» материалов – с интегрированными сенсорами и способностью адаптироваться к внешним условиям. Такие решения улучшают контроль за состоянием конструкции, продлевают срок службы и снижают расходы на обслуживание.

Также активно развиваются аддитивные технологии (3D-печать композитов), позволяющие создавать сложные, лёгкие и прочные детали с высокой точностью, что открывает новые возможности для проектирования БПЛА.

Экологический аспект – ведётся работа над экологичными композитами на основе биополимеров и натуральных волокон. Это направление важно для снижения вреда окружающей среде и упрощения утилизации.

Выводы

Использование композитных материалов в беспилотных летательных аппаратах становится все более необходимым для достижения высоких характеристик по прочности, легкости и долговечности. Композиты позволяют значительно улучшить аэродинамические свойства, повысить маневренность и продолжительность полета, а также снизить эксплуатационные расходы благодаря устойчивости к коррозии и усталости.

Современные технологии производства и новые разработки в области материаловедения открывают широкие возможности для создания инновационных и эффективных конструкций БПЛА. Перспективы включают внедрение нанокompозитов, «умных» материалов, а также использование аддитивных технологий, что позволит повысить надежность и функциональность беспилотных систем.

В условиях стремительного развития БПЛА применение композитных материалов остается ключевым фактором, обеспечивающим конкурентоспособность и технологическое лидерство в данной отрасли.

Список литературы:

1. Белова, Н.А. Композитные материалы на основе углеродных волокон // Молодой ученый. – 2015. – № 24 (104). – С. 5-7. – URL: <https://moluch.ru/archive/104/23577> (дата обращения: 10.06.2025).
2. Дориомедов, М.С. Рынок арамидного волокна: виды, свойства, применение // Труды ВИАМ. – 2020. – №11. – С. 48-59. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rynok-aramidnogo-voлокna-vidy-svoystva-primeneniye> (дата обращения: 10.06.2025).
3. Бабашов, В.Г., Максимов, В.Г., Варрик, Н.М., Самородова, О.Н. Изучение структуры и свойств керамических композиционных материалов на основе муллита // Авиационные материалы и технологии. – 2020. – №1. – С. 54-63. – URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-struktury-i-svoystv-keramicheskikh-kompozitsionnyh-materialov-na-osnove-mullita> (дата обращения: 10.06.2025).

4. Курганова, Ю.А., Колмаков, А.Г. Конструкционные металломатричные композиционные материалы: учебное пособие. - Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. - 141 с. - URL: https://urss.ru/images/add_ru/202831-1.pdf (дата обращения: 10.06.2025).
5. Ирмухаметова, Г.С. Основы технологии полимерных композиционных материалов: учебное пособие. - Алматы: «Қазақ университеті», 2016. - 141 с. - URL: <https://pps.kaznu.kz/ru/Main/FileShow2/62531/1/9/0/> (дата обращения: 10.06.2025).
6. Гуренко, А.В. Применение композитных материалов в конструкции современных беспилотных летательных аппаратов // Актуальные исследования / - 2024. - №31. - С. 16-21. - URL: https://apni.ru/uploads/31-1_2024_15-21.pdf (дата обращения: 10.06.2025).

References:

1. Belova, N.A. Composite materials based on carbon fibers // Young scientist. - 2015. - No. 24 (104). - P. 5-7. - URL: <https://moluch.ru/archive/104/23577> (date of access: 10.06.2025).
2. Doriomedov, M.S. Aramid fiber market: types, properties, application // Proceedings of VIAM. - 2020. - No. 11. - P. 48-59. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rynok-aramidnogo-volokna-vidy-svoystva-primenenie> (date of access: 10.06.2025).
3. Babashov, V.G., Maksimov, V.G., Varrik, N.M., Samorodova, O.N. Study of the structure and properties of ceramic composite materials based on mullite // Aviation materials and technologies. - 2020. - No. 1. - P. 54-63. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-struktury-i-svoystv-keramicheskikh-kompozitsionnyh-materialov-na-osnove-mullita> (date of access: 10.06.2025).
4. Kurganova, Yu.A., Kolmakov, A.G. Structural metal-matrix composite materials: a tutorial. - Moscow: Publishing house of Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, 2015. - 141 p. - URL: https://urss.ru/images/add_ru/202831-1.pdf (date of access: 10.06.2025).
5. Irmukhametova, G.S. Fundamentals of polymer composite materials technology: a tutorial. - Almaty: «Kazakh University», 2016. - 141 p. - URL: <https://pps.kaznu.kz/ru/Main/FileShow2/62531/1/9/0/> (date of access: 10.06.2025).
6. Gurenko, A.V. Application of composite materials in the design of modern unmanned aerial vehicles // Current research / - 2024. - No. 31. - P. 16-21. - URL: https://apni.ru/uploads/31-1_2024_15-21.pdf (date of access: 10.06.2025).