

**ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИ УЛУЧШЕННЫХ КОМПОЗИТОВ  
АВИАЦИОННЫХ ИНТЕРЬЕРОВ И ВТОРОСТЕПЕННЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ**

**Аль Дарабсе Амер Мохаммад Фархан**  
Инженер самолето-и-вертолетостроение  
и Электроснабжение  
amersamarah4@gmail.com

**Маркова Елена Владимировна,**  
к.э.н., доцент  
кафедры «Общенаучные дисциплины»  
morozova319@yandex.ru

**Дабабне Исса Эльяс**  
студент 1 курса направления «Авиастроение»  
Dababneh.issa47@gmail.com

**Денисова Татьяна Валентиновна,**  
к.э.н., доцент  
кафедры «Экономика, управление и информатика»  
denisovaiatu@mail.ru

Институт авиационных технологий и управления, Ульяновский  
государственный технический университет, г. Ульяновск, РФ

**Аннотация.** Сегодня в авиации для производства композитных деталей используются в основном искусственные материалы, такие как углеродные и стеклянные волокна. Возобновляемые материалы, такие как натуральные волокна или системы на основе биологических смол, пока не нашли своего применения в авиации. Проект ИАТУ-А1990 направлен на оценку потенциального применения экологически улучшенных композитных материалов в авиационном секторе в рамках международного сотрудничества китайских и европейских партнеров. Натуральные волокна,

такие как лен и рами, будут использоваться для различных типов армирования и сэндвич-наполнителей. Кроме того, исследуются эпоксидные смолы на биологической основе для замены эпоксидных смол на основе бисфенола-А во вторичных структурах. Адаптированные технологии защиты материалов для снижения воздействия на окружающую среду и повышения огнестойкости необходимы для выполнения жестких требований безопасности в авиации. Моделирование и моделирование выбранных экокомпозигов нацелено на оптимальное использование материалов, а оценка жизненного цикла направлена на доказательство экологических преимуществ по сравнению с синтетическими современными материалами. В этой статье будет представлен статус выбранных экологически улучшенных материалов с перспективой их потенциального применения во внутренних и второстепенных конструкциях.

**Ключевые слова:** авиация, эко-композит, биоволокно, биосмола, интерьер, вторичная структура, сэндвич, гибрид, переработка.

Легкие конструкции из композитных материалов приобрели большое значение благодаря своим превосходным механическим свойствам в сочетании с относительно небольшим весом. Армированные волокном полимеры (АВП) позволяют создавать более легкие и более эффективные самолеты, что приводит к снижению расхода топлива и увеличению полезной нагрузки. Композитные материалы с высокими эксплуатационными характеристиками, такие как пластмассы, армированные углеродным волокном (ПАУВ), используются в основных конструкциях современных самолетов, таких как Airbus A350 (рис. 1) и Boeing 787 Dreamliner. Они все чаще используются для замены классических материалов, таких как алюминий или титан. Кроме того, сэндвич из армированного стекловолокном пластика (АСП) с фенольными смолами в качестве матричной системы находит свое применение во внутренних помещениях из-за их низкого отношения веса к жесткости [1].

Но все эти композитные материалы, которые в настоящее время используются в авиации, имеют одну общую черту: они созданы руками человека, и особенно углеродные волокна при производстве очень энергоемки. Возобновляемые материалы, такие как биоволокна и биосмолы, уже давно исследуются на предмет их использования в композитах, но они еще не внедрены в современные самолеты в заметных количествах [2].

С экологической точки зрения композиты, такие как стеклопластик и углепластик, обычно потребляют больше энергии на этапе производства по сравнению с классическими металлами. Кроме того, их внутренняя гетерогенная структура препятствует аналогичной эффективности, когда речь идет о переработке в конце [3].

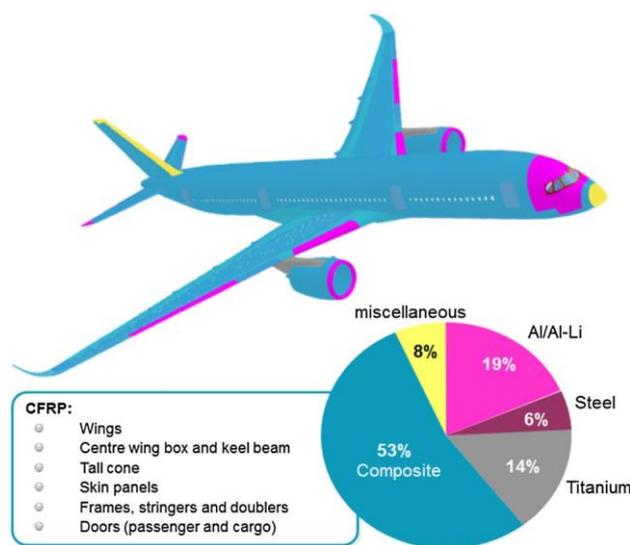


Рис. 1. Материалы, используемые в современном самолете Airbus A350.

Рециркуляция замкнутого цикла, как в случае с металлом, невозможна и приводит, в основном, к переработке вторичного сырья более низкого качества. С другой стороны, легкий потенциал ПАУВ и особенно ПАУВ очень ценен для снижения расхода топлива в транспортных приложениях в зависимости от расстояния перемещения и срока службы. Здесь соотношение экологического воздействия между фазой производства и фазой использования смещено в сторону последней. Тем не менее, представляет большой интерес снижение потребления энергоемких углеродных и

стеклянных волокон в пользу волокон на биологической основе в определенных областях применения [4].

Поскольку безопасность имеет первостепенное значение в авиации, недостаток опыта и уверенности в долговременной работе и механических свойствах композитов из возобновляемых материалов по-прежнему является препятствием для их использования. Таким образом, в настоящее время вне рамок возможности замены высокоэффективных и важных для безопасности композитов, таких как углепластик или АСП, в основных конструктивных элементах самолета, например, в раме фюзеляжа и кессоне внешнего крыла, материалы на биологической основе. С другой стороны, второстепенные конструкции и внутренние композиты, которые не подвергаются таким высоким нагрузкам, предлагают возможные области применения. Примерами второстепенных элементов конструкции являются обтекатели и двери шасси. В интерьере потолочные панели, боковые стенки и панели пола кабины призваны заменить стекловолокно и фенольные смолы на экологически улучшенные разработки [5].

Применение возобновляемых материалов, особенно во вторичных конструкциях и интерьерах самолетов, является очень амбициозной задачей из-за высоких требований. Однако влияние результатов может быть гораздо шире, чем в аэрокосмической отрасли с ее жесткими требованиями к обеспечению безопасности пассажиров. Экологические композиты, улучшенные с точки зрения их механических, многофункциональных свойств и свойств старения, также очень интересны для других отраслей транспорта, таких как автомобильная, железнодорожная и морская. Более того, другие секторы, такие как ветроэнергетика и рекреационное оборудование, могут получить прибыль от результатов [6].

Экологически улучшенный не обязательно означает, что будут оцениваться только биоматериалы. Переработанные материалы и технологии для улучшения многофункциональности композитов также должны быть исследованы (рис. 2). Например, технология защиты материалов, которая

необходима в случае использования волокон на биологической основе, таких как лен или рами, для внутренних работ, представляет собой адаптированную противопожарную защиту. Эти и другие технологии могут быть объединены и будут оцениваться для их использования в аэрокосмической отрасли не только по уровню технической готовности (УТГ), но и по воздействию на окружающую среду по сравнению с отдельными современными частями с сопутствующей оценкой жизненного цикла (СОЖЦ) [7].

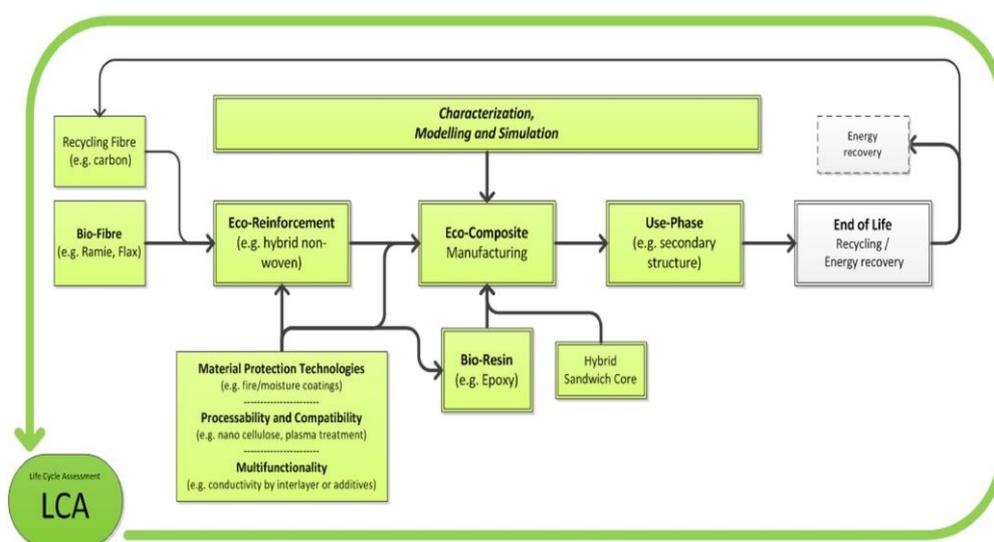
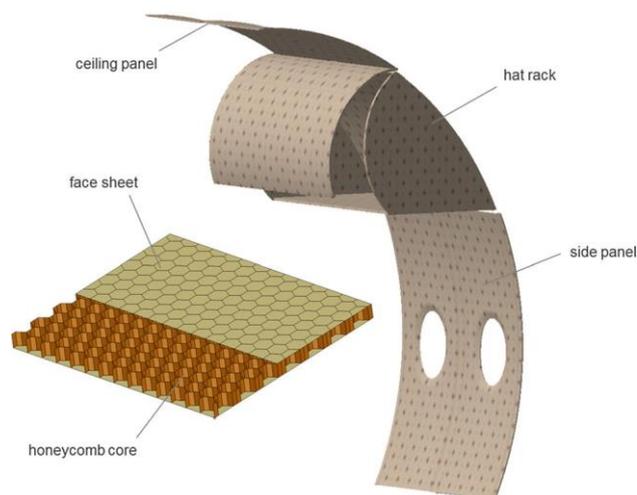


Рис.2. Упрощенная круговая блок-схема для задач ИАТУ-А1990

Следует различать выявленные области применения: второстепенные конструкции и интерьер. Требования этих приложений значительно различаются, и поэтому в ИАТУ-А1990 запланированы различные способы удовлетворения этих требований. Основное внимание для внутренних материалов (рис. 3) будет уделяться пожарным свойствам (воспламеняемость, тепловыделение, дым и токсичность) и многофункциональным преимуществам, которые могут быть достигнуты с использованием натуральных волокон, например акустическое демпфирование. С другой стороны, вторичные структуры предъявляют более высокие требования к механическим свойствам композита. В ИАТУ-А1990 будет учтено влияние таких воздействий окружающей среды, как влажность,

ультрафиолетовое излучение и удар молнии. Помимо вторичных структур, китайские партнеры оценят подход к повышению проводимости композитов за счет прослоек. Это также применимо к высокоэффективным углепластикам, используемым в первичных конструкциях [8].

Рис.3. Примеры внутренних сэндвич-деталей



Чистые биокompозиты, изготовленные из биоволокон (например, льна, рами) и биосмол (например, эпоксидной смолы), будут оцениваться параллельно с новым подходом, который направлен на объединение ценных переработанных углеродных волокон и биоволокон в гибридный нетканый материал. Вместе с полуфабрикатами из натурального волокна, разработанными в Китае (тканые однонаправленные армирующие материалы), это позволит авиастроителю выбрать правильный материал для желаемого применения. Обработка волокна для улучшения механических свойств и технологичности натуральных волокон будет предложена партнерами в Европе (например, плазменная обработка) и Китае (например, наноцеллюлоза) с целью улучшения адгезии волокна к матрице, что имеет решающее значение для наилучших свойств волокна. армированные полимеры. Кроме того, будут оцениваться новые решения из гибридных материалов для многослойных сердечников [9].

Параллельно с работой по экологическому армирующему волокну будет проводиться разработка смол биологического происхождения в

качестве замены применяемых в настоящее время эпоксидных смол на основе бисфенола-А и фенольных смол. С китайской стороны для решения этой задачи будут оптимизированы и оценены три различных и многообещающих варианта биоэпоксидной смолы. Поскольку эпоксидная смола будет в основном интересна для несущих нагрузок, европейские партнеры будут параллельно оценивать рыночную ситуацию по смолам на биологической основе для замены фенольной смолы, которая сегодня используется в салоне [10].

Поскольку использование биологических материалов сопряжено с новыми проблемами, такими как чувствительность к влаге и поражение грибками, особое внимание будет уделяться адаптированным технологиям защиты. Решения для смягчения этих воздействий окружающей среды будут определены и протестированы, например: специальные покрытия, не влияющие на механические свойства композитов. Кроме того, будет оцениваться обработка волокна (проклейка) и добавки к смолам, такие как эффективные наночастицы для улучшения этих важнейших свойств. В проекте будет иметь большое значение, чтобы эти технологии защиты применялись только в том случае, если они необходимы для выполнения желаемой функции, поскольку каждый последующий материал и обработка потенциально увеличивают экологический след, стоимость и вес. Таким образом, оценка воздействия на окружающую среду будет осуществляться не только техническими средствами, но и в отношении их воздействия на окружающую среду с помощью оценки жизненного цикла [11].

Оценка жизненного цикла (ОЖЦ) используется в качестве инструмента анализа для оценки того, как продукт или материал потенциально влияют на экосистемы. Это, возможно, должно включать все этапы жизненного цикла от начала производства до конца срока службы. Структура ISO для оценки жизненного цикла стандартизирована в ISO 14040-14044 и определена как «сбор и оценка входов, выходов и потенциальных воздействий на окружающую среду продуктовой системы на протяжении всего ее

жизненного цикла». Оценка жизненного цикла позволяет проводить систематическую количественную оценку с точки зрения воздействия на окружающую среду, здоровья человека и потребления ресурсов. Примерами категорий воздействия на окружающую среду являются потенциал подкисления, потенциал глобального потепления и потенциал токсичности для человека. Также в оценку жизненного цикла должны быть включены такие факторы, как землепользование, создание шума и потеря биоразнообразия [12].

Чтобы уменьшить объем сертификационных испытаний, численное моделирование разработанных композитов будет иметь большое значение для оценки улучшений и проблем, связанных с предлагаемыми материалами. Хорошо известно, что использование метода конечных элементов (МКЭ) позволяет значительно сократить требуемые сертификационные испытания конструктивных элементов, компонентов или полномасштабных конструкций. Несмотря на то, что этот проект не учитывает компоненты, несущие высокую нагрузку, а в основном второстепенные конструкции и внутренние детали, использование числовых инструментов поможет определить механические характеристики новых материалов и, следовательно, связанные с этим затраты. Структурный, термический, а также электромагнитный численный анализ будет выполнен и утвержден китайскими и европейскими партнерами. Наконец, когда все численные анализы будут подтверждены и покажут хорошее согласие с экспериментальными результатами, они будут использоваться для оптимизации конструкции новых экокомпозитов. Для каждого применения необходимо найти компромисс между необходимыми свойствами материалов, стоимостью и воздействием на окружающую среду. Это означает, что любой экоматериал может использоваться сам по себе, и его необязательно комбинировать с другими экологическими материалами, а с современными материалами, уже использованными для достижения положительного эффекта. Возможный сценарий - использование биосмол со

стандартными искусственными армирующими волокнами в приложениях, где важны более высокие механические свойства или влияние окружающей среды препятствует использованию волокон из биологических источников.

Современные материалы в кабинах самолетов — это очень жесткие и легкие сэндвич-панели, используемые, например, в потолках, обшивке и вешалках для шляп. Эти сэндвич-панели содержат сердцевину из арамидных волокон и фенольной смолы. Стекловолокно используется в сочетании с фенольной смолой в качестве армирующего препрега для верхних слоев сэндвича (рис. 3) [13]. Эти очень легкие и жесткие панели производятся на прессе с подогревом. Для таких сэндвич-панелей не существует экологически приемлемой обработки в конце срока службы из-за использования фенольных смол и стекловолокна / арамидных волокон. Разделение таких гетерогенных комбинаций материалов, внедренных в сшитую термореактивную смолу, очень сложно [14].

Детали вторичной конструкции требуют материалов с более высокими механическими свойствами. Из-за веса и механических требований для таких деталей в основном используются непрерывные углеродные волокна. Для защиты от электромагнитных помех и особенно от удара молнии желательно использовать электропроводящие структурные композиты в критических зонах самолета. Современные углеродные композиты не могут удовлетворить эти требования. Это большая технологическая проблема для композитов с полимерной матрицей.

Окончательные свойства композитного материала связаны с контролем параметров обработки во время производства. Выбор подходящего давления, температуры и времени отверждения очень важен для достижения низкой пористости и увеличения продолжительности отверждения.

Поскольку в проекте ИАТУ-А1990 будут рассматриваться различные материалы на биологической основе, будет проведена кампания по физико-химическому определению характеристик для определения кинетики полимеризации и реологического поведения материалов, подлежащих

преобразованию. Эти испытания, которые также будут проводиться на рецептурах с наполнителями для улучшения многофункциональных свойств, позволят определить наиболее подходящие технологические окна, чтобы гарантировать лучший компромисс между высокими свойствами материала и ограниченным циклом отверждения.

время. Поскольку материалы на биологической основе обычно очень чувствительны к окружающей среде и демонстрируют большие отклонения от стандартов по свойствам, чем материалы «не на биологической основе», такое определение параметров циклов отверждения критически важно для максимальной надежности процесса и повысить повторяемость конечных свойств изготавливаемых материалов.

Затем композитные ламинаты и сэндвич-композиты будут производиться в автоклаве и горячем прессе. Благодаря составам смол и волокон с наполнителями, достигается улучшение характеристик материала, таких как структурные и механические свойства, структурное демпфирование, пожар / дым / токсичность и свойства гигротермического старения. Состав и размеры образцов будут выбраны в соответствии с авиационными спецификациями и стандартами, а состояние материалов будет предварительно контролироваться с помощью ультразвукового тестирования перед определением характеристик [15].

Защита материала также будет оцениваться для повышения долговечности изготовленного материала с точки зрения воздействия окружающей среды, дыма от огня и токсичных свойств, но потребует изучения совместимости материала с этими решениями. Для различных применений (второстепенные конструкции и внутренние детали) особое внимание будет уделяться общему увеличению веса, вызванному защитой материала, которое будет параметром для выбора покрытия. Конечно, будет вестись поиск синергии между различными требованиями между различными оцениваемыми решениями.

Целью исследования ИАТУ-А1990 является разработка, улучшение и оптимизация экоккомполитов для эффективного использования в (полу) конструктивных деталях. Предложенное для этой цели механико-численное предложение состоит из исследования, направленного на получение хороших механических свойств, долговечности и стойкости экоккомполитов, основанного на рациональном анализе, который обеспечивается путем адаптации обобщенной теории смешения и / или теории многомасштабной гомогенизации. , полученных из рецептов для классического композитного материала, и всех этих механических составов в рамках, обеспечиваемых оптимизацией генетических алгоритмов. Таким образом, предлагаемая процедура обещает подробное исследование поведения всего композита, начиная с поведения простых компонентов. Он стремится получить экологически чистые материалы, которые также являются механически и термически эффективными.

Мультимасштабные процедуры основаны на анализе модели материала (микромоделей), предполагающей периодическое распределение материала внутри конструкции. Этот анализ обеспечивает отклик материала, который можно использовать в структурной модели (макромоделей) для получения общих характеристик конструкции. Существует несколько подходов, в которых может быть определена многомасштабная процедура. Обобщенная теория смесей или теория последовательного / параллельного перемешивания предлагает феноменологическую гомогенизацию, при которой характеристики композита получаются из конститутивных моделей его компонентов и некоторых закрывающих уравнений, которые определяют, как эти компоненты взаимодействуют между собой. Эта формулировка позволяет учесть сложные процедуры отказа, такие как расслоение, с доступными вычислительными затратами.

Другой многомасштабный подход, который будет использоваться, заключается в получении совокупных характеристик на основе анализа числовой модели элемента репрезентативного объема. Граничные условия,

применяемые к элементу представительного объема, берутся из макромоделей, а отклик, полученный от элемента представительного объема, переносится в структурную модель. Пример того, как работает многомасштабный анализ, показан на рис. 4, на котором нанесены напряжения, полученные в макро- и микромасштабах для зажатой балки, изготовленной из пултрузионного композита. Как показано авторами, главным недостатком этого подхода является его вычислительная стоимость. По этой причине в рамках проекта ИАТУ-А1990 будут рассмотрены две разные стратегии по его снижению. Первый состоит в определении параметра сравнения, позволяющего предсказать, достигла ли данная материальная точка своего порогового напряженно-деформированного состояния. Его подход был сформулирован и показал отличные результаты. Второй подход состоит в анализе отказов представительного элемента объема в различных состояниях напряженно-деформированного состояния для создания базы данных материалов, определяющей порог отказа и его развитие. Этот подход требует начальных вычислительных усилий для определения базы данных, но впоследствии структурное моделирование может быть проведено довольно легко.

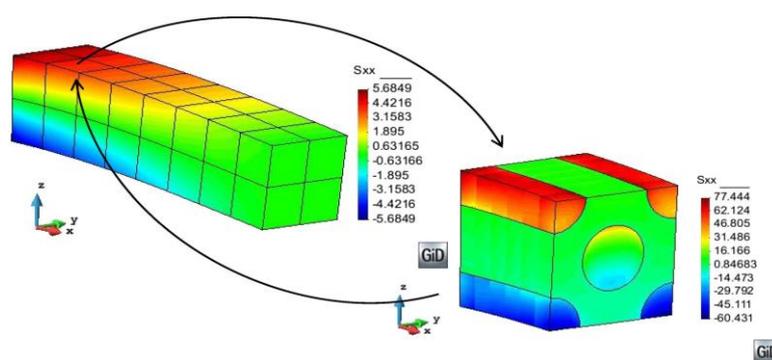


Рис. 4. Напряжения в макро- и микромоделях зажатой пултрузионной композитной балки.

Легкие конструкции из композитных материалов обладают превосходными механическими свойствами в сочетании с относительно небольшим весом. Эти высокоэффективные композиты, используемые сегодня в авиации, в основном основаны на искусственных компонентах,

таких как углеродные волокна. Биологические материалы, такие как льняное волокно, обладают очень многообещающими характеристиками, но пока еще не нашли своего применения в авиации. Проект ИАТУ-А1990 направлен на объединение исследований, проведенных в Китае и Европе, для разработки экологически улучшенных композитов для использования во вторичных конструкциях и интерьере самолетов. Таким образом, усиление, смолы и многослойные наполнители на биологической основе / из вторичного сырья будут оценены и оптимизированы для их применения в авиации. Чтобы противостоять особым нагрузкам в авиационной среде, будут изучены защитные технологии для снижения рисков пожара, молнии и поглощения влаги, а адаптированное моделирование и симуляция позволят оптимизировать композитную конструкцию. Электропроводящие композиты для экранирования электромагнитных помех и защиты от ударов молнии также будут исследованы для улучшения общих свойств высокоэффективных композитов. Параллельно будет проводиться оценка жизненного цикла «от колыбели до могилы» для сравнения экоккомполитов с современными материалами.

#### **Список использованных источников**

1. Аль Д.А.М.Ф., Маркова Е.В., Денисова Т.В. Профессиональная деятельность специалистов авиационной сферы как основа формирования их аутентичной речевой коммуникации. // Наука и Образование. 2019. № 2. С. 269.
2. Аль-Дарабсе А.М.Ф. Проблемы программного обеспечения в авиационных системах. // В сборнике: Проблемы технического сервиса в АПК Сборник научных трудов II студенческой всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 7-15.
3. Аль Д.М.Ф., Маркова Е.В., Миллер В.В. Основные законы конструкции самолета. // Наука и Образование. 2020. № 1. С. 118.

4. Аль Д.М.Ф., Маркова Е.В., Миллер В.В. Содержание этанола в автомобильном бензине (могаз) в авиации в сравнении с авиационным бензином (авгаз). // Наука и Образование. 2020. № 1. С. 119.

5. Аль-Дарабсе А.М.Ф., Маркова Е.В. Развитие компетенций на рабочем месте: концепции, стратегии и эффекты. // Аграрное образование и наука. 2019. № 4. С. 1.

6. Черненькая Е.В. Форсайт-аудит систем управления в аэрокосмической технологии. // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2019. № 1 (85). С. 71-73.

7. Маркова Е.В., Аль-Дарабсе А.М.Ф. Влияние инноваций на экономический рост. // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2019. № 2 (86). С. 72-74.

8. Аль Д.А.М.Ф., Маркова Е.В., Денисова Т.В. Технология изготовления конструктивных деталей самолетов. // Наука и Образование. 2019. № 2. С. 268.

9. Маркова Е.В., Денисова Т.В. Моделирование турбовинтовой гибридной электрической двигательной установки. // Российский электронный научный журнал. 2019. № 2 (32). С. 16-33.

10. Аль-Дарабсе А.М.Ф. Исследование экономических систем в авиастроении на основе методологии функционально-стоимостной инженерии. // В сборнике: Молодежь и наука XXI века Материалы Международной научной конференции. 2018. С. 470-472.

11. Вольсков Д.Г. Исследование экономических систем в авиастроении на основе методологии функционально-стоимостной инженерии. // В сборнике: Молодежь и наука XXI века Материалы Международной научной конференции. 2018. С. 470-472.

12. Вольсков Д.Г. Криминализация экономики как финансовой безопасности. // В сборнике: Проблемы и перспективы экономических отношений предприятий авиационного кластера III Всероссийская научная конференция. Ульяновск, 2019. С. 101-104.

13. Вольсков Д.Г. Способы снижения дебиторской задолженности с целью укрепления финансовой безопасности предприятия. // В сборнике: Проблемы и перспективы экономических отношений предприятий авиационного кластера III Всероссийская научная конференция. Ульяновск, 2019. С. 105-109.

14. Вольсков Д.Г. Кадровая безопасность предприятия в современной экономике. // В сборнике: Проблемы и перспективы экономических отношений предприятий авиационного кластера III Всероссийская научная конференция. Ульяновск, 2019. С. 109-113.

15. Вольсков Д.Г. Улучшение отслеживания багажа, безопасности и обслуживания клиентов с помощью RFID в авиационной отрасли.// В сборнике: Проблемы технического сервиса в АПК Сборник научных трудов II студенческой всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 15-20.

## **PERSPECTIVES FOR INTERIOR COMPOSITES AND SECONDARY STRUCTURES IMPROVED FOR THE ENVIRONMENT**

**Al Darabseh Amer Mohammad Farhan**

Engineer Aircraft & Helicopter Engineering and Power Supply  
amersamarah4@gmail.com

**Markova Elena Vladimirovna, Ph.D.,** associate professor

Department of " General science disciplines"  
morozova319@yandex.ru

**Dababne Issa Elyas**

1st year student of the direction Aviation

Dababneh.issa47@gmail.com

**Denisova Tatyana Valentinovna**, Ph.D., associate professor  
Department of "Economics, Management and Computer Science"

denisovaiatu@mail.ru

Institute of Aviation Technologies and Management,  
Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russian

**Abstract.** Today, aviation mainly uses man-made materials such as carbon and glass fibers to make composite parts. Renewable materials such as natural fibers or bio-resin systems have not yet found their way into aviation. The IATU-A1990 project aims to assess the potential application of environmentally enhanced composite materials in the aviation sector within the framework of international cooperation between Chinese and European partners. Natural fibers such as flax and ramie will be used for different types of reinforcement and sandwich fillers. In addition, biobased epoxy resins are being studied to replace bisphenol-A-based epoxies in secondary structures. Appropriate material protection technologies to reduce environmental impact and improve fire resistance are essential to meet stringent aviation safety requirements. Modeling and modeling of selected eco-composites is aimed at optimal use of materials, and life cycle analysis aims to prove the environmental advantages over modern synthetic materials. This article will present the state of some environmentally enhanced materials with the perspective of their potential use in interior and secondary structures.

**Keywords:** aviation, eco-composite, biofiber, bioresin, interior, secondary structure, sandwich, hybrid, recycling.