

Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение города
Москвы "Школа № 1788"

Научно-исследовательская работа
Внедрение композиционных материалов в
авиационные проекты, улучшение
конструкции топливного бака вертолета
Ми-8

Составитель:
Сафаров Даниил
11 У класс
Научный руководитель:
Вологжин С.Л.
учитель обществознания, истории
ГБОУ Школы №1788

Москва

2023

Оглавление:

Титульный лист	1
Оглавление	2
Введение	3
Глава 1 Теоретическая часть	6
1.1 Композиционные материалы – материалы будущего	6
1.2 История композиционных материалов	8
1.3 Классификация композиционных материалов	10
1.4 Преимущества и недостатки КМ	13
Глава 2 Практическая часть	15
2.1 Проектирование из композиционных материалов	15
2.2 Сравнительные характеристики материалов	17
2.3 Испытания образцов на растяжение	20
3. Результат практической части	28
3.1 Применение композиционных материалов в конструкции вертолета Ми-8	28
Заключение	35
Использованная литература	37
Результаты испытаний	39
Приложение	40

Введение

Актуальность исследовательской работы: актуальность данной научно-исследовательской работы заключается в том, что среди наиболее важных требований, предъявляемых к конструкции летательных аппаратов (ЛА) можно выделить: минимальную массу, максимальную жесткость и прочность узлов и агрегатов, высокий ресурс работы конструкций в условиях эксплуатации, высокую надежность ЛА, а возможность применения композиционных материалов (КМ) в авиастроении весьма обширна. Применение КМ как раз дает возможность снижать массу конструкции, повышать ресурсы, создавать принципиально новые детали и конструкции сложной формы. После аварийного падения вертолетов нередки случаи возникновения пожара на борту вследствие деформации конструкции топливных баков, короткого замыкания или контакта разлитого топлива с нагретыми предметами. В этом случае процент травматизма и смертности значительно возрастает. Для решения поставленной задачи необходимо принять ряд конструктивных мер, а также использовать современные материалы и продукты.

Характер исследования: теоретико-экспериментальная работа

Проблема исследовательской работы: Проблема с КМ заключается в том, что большая часть технологий является относительно новыми и поэтому должны быть протестированы и сертифицированы для использования в конструкции ЛА. Организации, отвечающие за безопасность полетов, негативно относятся к ЛА, использующим конструкционные технологии, которые могут развалиться в полете. В дополнение к производству КМ должна существовать технология их проверки и ремонта на готовых ЛА в процессе эксплуатации. Эксплуатирующие организации не захотят заменять ЛА через 10 лет эксплуатации, потому что обнаружат, что, например, крыло или килевая балка вертолета имеет усталостные повреждения (например трещины, распространение трещин, разрушение материала). КМ не особенно сложны в использовании; но они представляют собой новую

технологическую проблему в сочетании с необходимыми испытаниями и сертификациями для использования в авиации.

Объект исследования: полимерные композиционные материалы на основе углеродистой ткани, топливные баки вертолета типа Ми-8.

Предмет исследования: композиционный материал в конструкции топливных баков вертолета типа Ми-8.

Цель исследовательской работы: изучить и сравнить свойства полимерных композиционных материалов на основе углеродистой ткани с алюминием (АМг) на основании экспериментов и возможность их применения в конструкции топливных баков вертолета типа Ми-8.

Задачи исследовательской работы:

1. Изучить композиционные материалы, историю их создания, классификацию, преимущества и недостатки.
2. Возможность проектирования из КМ изделий для авиационной отрасли.
3. Сравнить характеристики КМ и алюминия марки АМг.
4. Произвести расчет удельной прочности и жесткости КМ и АМг и сравнить полученные характеристики.
5. Провести испытания образцов КМ на растяжение и получить результаты.
6. Предложить вариант конструкции топливного бака для вертолета типа Ми-8 из КМ, рассмотреть преимущества.
7. Сделать выводы по результатам проведенной работы.

Гипотеза исследовательской работы: в ближайшие 10 лет в конструкциях ЛА (самолеты, вертолеты и др.) будет увеличен процент применения КМ, что позволит увеличить ресурс работы изделий в 1,5-2 раза, повысить надежность конструкций, уменьшить массу и, следовательно, увеличить дальность полетов ЛА.

Методы исследования: при написании данной работы были использованы следующие методы:

- изучение учебной, справочной, периодической и научной литературы;
- проведение экспериментов;
- сравнение и анализ полученной информации;

- Изучение и обобщение.

Научная новизна исследования: Проведено сравнение справочных характеристик и характеристик полученных в результате испытаний материалов АМг и ламинатных полимерных композиционных материалов на основе углеродной ткани. Проведен расчет и сравнение удельной прочности и удельной жесткости АМг и КМ. Предложена идея внедрения КМ в конструкцию топливного бака вертолета типа Ми-8.

Теоретическая значимость исследовательской работы: теоретическая значимость моей исследовательской работы заключается в том, что определяется роль использования КМ в авиастроении.

Практическая значимость исследовательской работы: практическая значимость данной исследовательской работы заключается в том, что результаты исследования могут быть использованы школьниками для повышения образовательного уровня, возможности применения в авиационной отрасли идеи применения КМ для топливных баков.

Характеристика основных источников информации: основным источником информации в настоящее время является интернет, научная литература, свою идею я взял при посещении ПАО «КВЗ» (цеха окончательной сборки и цеха по изготовлению лопастей из КМ), ПАО «МВЗ» (музея М.Л. Миля, площадки с образцами модификаций вертолетов семейства «МИ»), общении с представителями различных предприятий на выставках МАКС и HELIRUSSIA. Вся информация, использованная мной это сайты с достоверной научной, исторической информацией, научная литература, научные статьи, результаты исследовательских испытаний.

Глава 1 Теоретическая часть

1.1 Композиционные материалы – материалы будущего

После того как современная физика металлов подробно разъяснила нам причины их пластичности, прочности и ее увеличения, началась интенсивная систематическая разработка новых материалов. Это приведет, вероятно, уже в воображимом будущем к созданию материалов с прочностью, во много раз превышающей ее значения у обычных сегодня сплавов. Именно такими материалами будущего являются композиционные материалы.

Композиционный материал – это неоднородный сплошной материал из двух или более компонентов с четкой разницей между ними. Комбинируя объемное содержание компонентов, можно получать композиционные материалы с требуемыми значениями прочности, жаропрочности, модуля упругости, абразивной стойкости, а также создавать композиции с необходимыми магнитными, диэлектрическими, радиопоглощающими и другими специальными свойствами.

Современные композитные материалы обычно состоят из двух компонентов: волокна и матрицы. В качестве волокна используются высокопрочные стеклянные, углеродные, органические, борные и другие волокна. Матрицей являются как термореактивные смолы (фенольные, эпоксидные, полиэфирные и т.д.), так и термопластичные полимеры (полиамиды, полиэтилен, полистирол и др.). Эти материалы обладают достаточно высокой прочностью, низкой теплопроводностью, высокими электроизоляционными свойствами, кроме того, они прозрачны для радиоволн.

Матрица в композиционных материалах обеспечивает однородность материала, передачу и распределение напряжения в наполнителе, определяет тепло-, влаго-, огне- и химическую стойкость. Армирующие наполнители в виде тонких волокон, нитей, жгутов или тканей воспринимают основную долю нагрузки

композитов и обеспечивают физико-механические характеристики материала, в частности, высокую прочность и жесткость в направлении ориентации волокон. В композицию могут также входить загустители, пигменты и др.

1.2 История композиционных материалов

Как мы уже выяснили, композиционный материал – это два или более неоднородных материала используют вместе, чтобы создать новый уникальный материал или же улучшить характеристики одного из них.

Первое использование этого метода относится к 1500 году до нашей эры, когда в Египте и Месопотамии начали использовать глину и солому для строения зданий. Также солому вносили в состав для укрепления керамических изделий и лодок.

Следующая века – это 1200 год нашей эры. В это время монголы создали первый композиционный лук из таких материалов, как древесина, кость и животный клей. Монгольский лук делали обычно из нескольких слоев древесины (в основном это была береза), которые склеивали с помощью животного клея. Роговые накладки помещали на внутренней стороне лука, закрепляя жилами.

В наше время не было бы современных композитов, если бы ученые не придумали пластмассы. До этого единственным источником клея и связующих веществ служили природные смолы, которые получали из животных или растений. А в начале XX века разработали винил, полистирол, фенол и полиэстер. Эти материалы значительно превосходили ранее используемые.

Но и пластмассы не могли обеспечить достаточную прочность. Нужно было армирование получше, и в 1935 году фирма Owens-Corning разработала стекловолокно. В сочетании с пластиковыми полимерами оно представляет собой чрезвычайно прочную и при этом очень легкую структуру. Это стало началом армированной полимерной промышленности.

Множество изобретений в этой сфере были придуманы во время войн. Как монголы создали свой композиционный лук, так и Вторая мировая война позволила армированным полимерам перебраться из лабораторий в реальный мир.

Альтернативные материалы, позволяющие снизить вес конечного изделия, были необходимы в военном авиастроении. Очень быстро инженеры поняли преимущества композитов в плане их веса и прочности. В общем, к концу войны

небольшая ниша композиционной промышленности была заполнена. И теперь стояла непростая задача: как перейти с военных заказов на продукты мирного назначения.

Среди очевидных вариантов были лодки. Первую лодку с композитным корпусом представили в 1946 году.

История развития современных КМ насчитывает чуть больше половины столетия, но успехи в этом направлении достигнуты значительные. Они нашли применение в самолетостроении и аэрокосмической промышленности, в автомобилестроении, в медицине и строительстве, в судостроении и производстве спортивного инвентаря, в быту и во многих других направлениях деятельности человека.

1.3 Классификация композиционных материалов

Путем подбора состава и свойств матрицы и наполнителя, их соотношения, ориентации наполнителя можно получить материалы и готовые изделия с требуемым (заранее заданным) сочетанием эксплуатационных и технологических свойств. В настоящее время на международном и российском рынке наибольшее распространение получили полимерные композиционные материалы (рис.1).



Рис.1 Типы композиционных материалов

Высокие темпы развития рынка композитов определяются широким спектром их свойств, превосходящих свойства традиционных материалов. Композитные материалы очень устойчивы к внешним воздействиям, поэтому пригодны для использования там, где необходима устойчивость к высоким температурам, коррозии или большим нагрузкам. Использование определенных наполнителей позволяет

получать композиционные материалы, стойкие к различным агрессивным средам, в том числе и к воздействию концентрированных кислот и щелочей. Композиты обладают высокими механическими свойствами и т.д. Прочность композиционных (волоконистых) материалов определяется свойствами волокон; матрица в основном должна перераспределять напряжения между армирующими элементами. Поэтому прочность и модуль упругости волокон должны быть значительно больше, чем прочность и модуль упругости матрицы. Жесткие армирующие волокна воспринимают напряжения, возникающие в композиции при нагружении, придают ей прочность и жесткость в направлении ориентации волокон.

В процессе производства, называемым формованием, составляющие изделия, армирующее вещество и матрица объединяются и ему придается форма. Существует достаточно много методов формования композиционных материалов, однако рассмотрим наиболее распространенный в настоящее время метод – прямое прессование или горячего формования. Метод прямого прессования является наиболее удачным решением для мелкосерийного производства композиционных материалов, поскольку позволяет получать изделия из композиционных материалов сложной формы и достаточно больших размеров. Более того, метод прямого прессования позволяет получать детали, близкие по размерам к конечным изделиям и с гладкими поверхностями, что в итоге минимизирует затраты при проведении конечной механической обработки. Производство таких композиционных материалов происходит с помощью автоклава. Автоклав (Рис.2) — герметичный аппарат, представляющий собой замкнутый сосуд с системой нагрева и подачи воздуха под давлением, для операций, требующих нагревания под давлением выше атмосферного. Автоклав позволяет осуществлять сложную химическую реакцию внутри объема под давлением согласно требуемых временным, температурным характеристикам и профилям давления для обработки различных материалов. Разработка новых материалов и процессов для автоклава привели к появлению устройств, позволяющих достичь более чем 760°C и 69,000 кПа. Автоклавы, эксплуатируемые низких температурах и давлениях, могут использовать воздух, но если для цикла полимеризации требуются более высокие температуры и давление, то

для предотвращения вероятности пожара в автоклаве следует использовать смесь воздуха и азота 50/50 или 100-процентный азот. Обработка в автоклаве намного функциональнее, чем нагрев в печи. Автоклав позволяет повысить температуру кипения жидкостей путем нагнетания избыточного давления. В свою очередь это позволяет использовать при производстве деталей и изделий из композитных материалов более специфичные эпоксидные смолы, что увеличивает теплостойкость и прочность продукции.



Рис.2 Автоклав

Как раз такие композиционные материалы, изготовленные по такому методу, мы и будем рассматривать в данной работе, так как они применяются в авиастроении.

1.4 Преимущества и недостатки КМ

Преимущества КМ:

- Количество деталей в некоторых агрегатах, благодаря технологии КМ может быть уменьшено на 80%, а общий вес воздушного судна может уменьшится до 30%, что повышает грузоподъемность и дальность полета, что особенно актуально.

- Многие КМ плохо проводят электрический ток, обладают повышенной тепло- и звукоизоляцией, а также не подвержены коррозии, что существенно продлевает эксплуатационный ресурс изделия. Так как КМ многослойны, то разрушение одного слоя часто не влечет за собой разрушение всего изделия.

- Материал и конструкция создаются одновременно.

- Возможность изготовления сложных форм.

- Высокая удельная прочность, высокая жесткость.

Если учитывать все эти преимущества, то при внедрении КМ в авиастроение можно:

- увеличить ресурс работы изделий в 1,5-2 раза, так как будет повышена надежность конструкции,

- увеличить пассажировместимость,

- снизить расход топлива на человека,

- увеличить дальность полета воздушных судов и т.д.

Как и любые другие материалы, композиты имеют свои минусы. Как правило, они зависят от сферы применения. Например, к недостаткам композитов можно отнести:

- Производство и ремонт композитов — это сложные и дорогие процедуры по сравнению с металлами, что чаще всего компенсируется уменьшением количества деталей и соединений.

- Некоторые композиты могут впитывать влагу, что не позволяет использовать их при повышенной влажности. Требуется дополнительная защита.

- В сравнении с металлами низкая ударная стойкость.

- Токсичность некоторых композитов негативно влияет на окружающую среду и здоровье человека, при обработке и ремонте композитов образуется высоколетучая пыль, представляющая опасность для дыхания. Также, при обработке углепластиков электроинструментом, может возникнуть короткое замыкание щеток коллектора.

- необходима отдельная система молниезащиты воздушного судна.

- углепластики, ввиду присутствия электропроводящего материала (углерода), составляют электрохимическую пару с некоторыми металлами и сплавами, что может приводить к электрохимической коррозии и разрушению сопрягаемого материала. Вопрос решается путем использования специальных материалов (титан, нержавеющая сталь) или предотвращением контакта между реагирующими материалами.

Недостатками обладают все окружающие нас материалы, но в современном мире уже невозможно обойтись без композитов.

Глава 2 Практическая часть

2.1 Проектирование из композиционных материалов

Проектирование – наиболее ответственный этап разработки изделия, в процессе которого определяются его технические характеристики и проверяется возможность реализации поставленной задачи. Определение наилучшего конструкторского решения — это сложный процесс, который состоит из работ по обеспечению наилучших эксплуатационных условий нагружения, форм деталей, эффективных материалов, которые способствуют получению минимальной массы конструкции. Все эти требования одновременно выполнить нельзя. Например, для летательных аппаратов, например вертолета, основным требованием будет обеспечение минимальной массы и изготовления деталей сложной конструкции.

Назначение материалов является важным процессом в создании конструкции, так как правильный их выбор может существенно улучшить характеристики изделия и экономичность. При этом в авиастроении действуют ограничивающие требования по коррозионной стойкости, теплостойкости и т.д. Приходится учитывать также стоимость, наличие материалов и их свойства.

В последние годы широкое распространение получили неметаллические композиционные материалы. Высокая удельная прочность и жесткость, а также технологичность обеспечивают во многих случаях существенные преимущества по сравнению с традиционными металлическими материалами, например алюминием АМг.

Последние 50 лет непрерывно развивались углеродные волокна. Весьма перспективны высокопрочные углеродные волокна (ВП), имеющие высокую прочность и средний модуль упругости, и волокна высокомодульные (ВМ), обладающие высоким модулем и умеренной прочностью. Высокопрочные

углеродные волокна получают при температурах ниже 1400 С, а высокомодульные - при высокой температуре 1800 - 3200 С.

Новые текстильные волокна играют важную роль в жизни современного общества, особенно значительным является вклад высокопрочных волокон, обладают большой неравномерностью механических свойств. Углепластики - композиты на основе высокопрочных углеродных волокон - наряду с органопластиками являются наиболее перспективным видом композиционных материалов. Средства обеспечения баллистической защиты, в том числе пуленепробиваемые жилеты, а также защитная одежда, например, рукавицы, одежда для водителей автомобилей и охотничья одежда. Кевларовое волокно также используется для изготовления прочных и легких парусов для лодок, каркасов лодок, яхт и др. Обладающий высокой прочностью и модулем кевлар используется главным образом в изготовлении ремней и шлангов, применяемых в промышленных и автомобильных областях. Волокна также находят применение в производстве компонентов корпусов самолетов, волоконной оптики, электромеханических кабелей и уплотнителей для областей работы в условиях высоких температур и давления.

Высокомодульные волокна - химические волокна, модуль упругости которых превышает 50–70 ГПа, прочность превышает 100–150 сН/текс. ВМ волокна выпускают в основном в виде нитей, жгутиков и однонаправленных лент. Из ВМ волокон изготавливают армированные полимерные композиционные материалы, высоконагруженные текстильные изделия, средства профессиональной защиты и спасения, высокоскоростные роторы. Несмотря на относительно высокую стоимость ВМ волокон, их используют в тех областях техники, где требуется сочетание высоких функциональных характеристик и минимальной массы: в производстве летательных аппаратов и др. транспортных средств, спортивного снаряжения и пр.

2.2 Сравнительные характеристики материалов

У каждого материала индивидуальные физические и механические характеристики. Справочные физические и механические характеристики полимерных композиционных материалов на основе углеродистой ткани (ПКМ) АСМ 102-С200Т и листового алюминия марки АМг, который применяется в авиастроении ОСТ 1-90246-77 представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Физические и механические характеристики композиционных материалов и алюминия марки АМг

Свойства	Единицы измерения	Полимерные композиционные материалы на основе углеродистой ткани	Алюминий (АМг)
Плотность (ρ)	г/см ³	1,56±0,1	2,76
Толщина одного слоя	мм.	0,2±0,02	В соответствии с ОСТ 1-90246-77
Прочность при растяжении вдоль основы (волокна), не менее ($\sigma^0_{\text{растяжения}}$)	МПа	750	412
Модуль при растяжении вдоль основы (волокна), не менее ($E^0_{\text{растяжения}}$)	ГПа	60	76
Прочность при растяжении вдоль утка (поперек волокна), не менее ($\sigma^{90}_{\text{растяжения}}$)	МПа	750	412
Модуль при растяжении вдоль утка (поперек волокна), не менее ($E^{90}_{\text{растяжения}}$)	ГПа	58	76
Прочность при сжатии вдоль основы (волокна), не менее ($\sigma^0_{\text{сжатия}}$)	МПа	700	412
Модуль при сжатии вдоль основы (волокна), не менее ($E^0_{\text{сжатия}}$)	ГПа	58	76

Прочность при сжатии вдоль утка (поперек волокна), не менее ($\sigma_{сжатия}^{90}$)	МПа	700	412
Модуль при сжатии вдоль утка (поперек волокна), не менее ($E_{сжатия}^{90}$)	ГПа	58	76
Прочность при сдвиге в плоскости листа, не менее (τ_{12})	МПа	120	226
Модуль при сдвиге в плоскости листа, не менее (G_{12})	ГПа	4,3	47
Прочность при межслоевом сдвиге, не менее (из плоскости детали) (τ_{23}, τ_{31})	МПа	60	226

Из данных, указанных в данной таблице, можем рассчитать удельную прочность и жесткость АМГ и композиционного материала АСМ 102-С200Т. Так как данные в таблице справочные, то и расчетные значения будут справочные. Из них будет видно насколько прочной будет конструкция при заданной массе.

Удельная прочность – предел прочности материала, отнесенный к его плотности. Она показывает, насколько прочной будет конструкция при заданной массе.

$$\sigma_{удельная} = \frac{\sigma}{\rho}$$

Удельная прочность для АМГ:

$$\sigma_{удельная} = \frac{\sigma}{\rho} = \frac{412}{2760} = 0,14$$

Удельная прочность для композиционного материала:

$$\sigma_{удельная} = \frac{\sigma}{\rho} = \frac{700}{1560} = 0,45$$

Чем выше значение удельной прочности материала, тем прочнее будет конструкция при одинаковом весе. Из полученных расчетов видно, что конструкция из композиционного материала прочнее конструкции из алюминия, при одинаковом весе, а значит ее можно сделать больше или облегчить.

Удельная жесткость – модуль прочности материала, отнесенный к его плотности. Она показывает, насколько жесткой будет конструкция при заданной массе.

Жесткость – это свойство тела сохранять форму под нагрузкой.

$$E_{\text{удельная}} = \frac{E}{\rho}$$

Удельная жесткость для АМг:

$$E_{\text{удельная}} = \frac{E}{\rho} = \frac{76}{2760} = 0,027$$

Удельная жесткость для композиционного материала:

$$E_{\text{удельная}} = \frac{E}{\rho} = \frac{58}{1560} = 0,037$$

Чем выше значение удельной жесткости материала, тем жестче будет конструкция. Из полученных расчетов видно, что конструкция из композиционного материала имеет большую жесткость, чем конструкция из алюминия, при одинаковом весе, а значит ее можно сделать больше или облегчить.

2.3 Испытания образцов на растяжение

Композитная конструкция состоит из двух основных частей. Первый — это волокнистый материал, который выдерживает растягивающие нагрузки. Примерами этого являются углеродное волокно и кевлар, оба из которых обладают высокой прочностью на разрыв. Это основное свойство волокон, которое делает его таким полезным при проектировании конструкций. Слабость волокон заключается в том, что они обычно имеют очень низкую или минимальную прочность на сдвиг и не могут выдерживать нагрузки на сжатие. Углеродные волокна хрупкие и их можно разрушить, просто смяв их пальцами.

Вторая часть композитной конструкции — это структурная смола, которая поддерживает волокно. Она обеспечивает необходимую прочность на сжатие для поддержки нитей или прядей из композитного материала.

Одной из проблем использования композитов является разработка комбинации двух материалов для обеспечения наилучшей общей прочности и жесткости. В настоящее время общепринятой практикой является наслоение и чередование волокон в ткань, так что растягивающиеся волокна добавляют прочности в разных размерах, что увеличивает общую прочность на сдвиг. Различные методы “переплетения”, наслоения и склеивания, как правило, носят запатентованный характер и обычно защищены патентами и правами интеллектуальной собственности.

Для подтверждения характеристик композиционных материалов проводят большое количество различных испытаний (растяжение, межслойный сдвиг, сжатие, смятие и т.д.), в рамках данной работы были проведены испытания образцов на растяжение и межслойный сдвиг, полученных данных будет достаточно для определения прочности и жесткости материала.

В последнее время получили распространение методы 2-х осевых испытаний тканевых композитных материалов (рис. 3, рис.4), что позволяет получить более реальную картину свойств материала, особенно при переменном воздействии по осям, но в нашем случае испытания были проведены на другой установке (рис. 7).

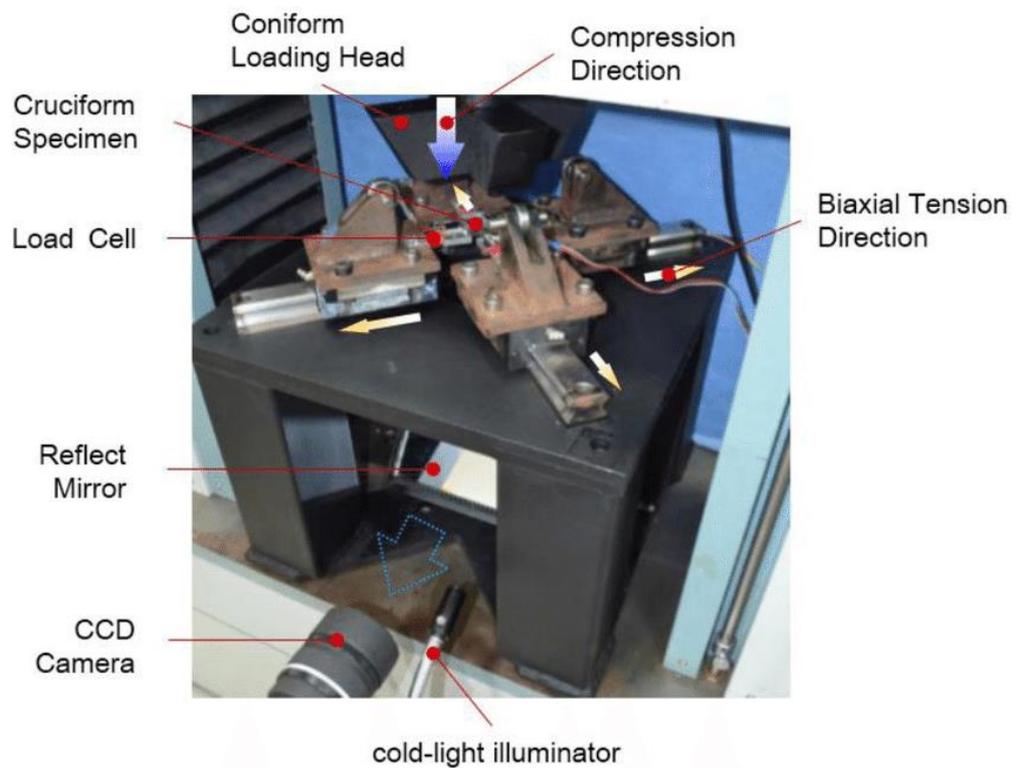


Рис.3 Установка для 2-х осевых испытаний.

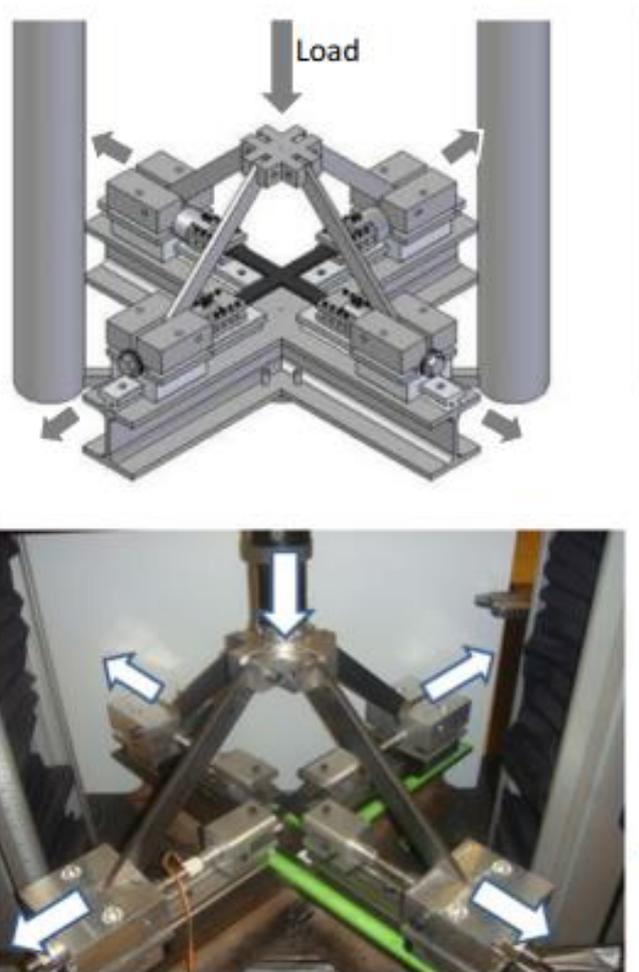


Рис.4 Установка для 2-х осевых испытаний, переменное воздействие по осям

На базе испытательной лаборатории механических и климатических испытаний образцов, материалов и компонентов авиационной техники ООО «Исследовательский Комплекс Центра Технологического Обеспечения» были проведены испытания монолитной панели из препрега на основе углеродной ткани АСМ 102-С200Т (рис.5, рис.6) по определению механических характеристик при растяжении сухих образцов при комнатной температуре $23\pm 5^{\circ}\text{C}$.



Рис. 5 Пример образца монолитной панели из препрега на основе углеродной ткани АСМ 102-С200Т



Рис.6 Структура двух сторон образца монолитной панели из препрега

В эксперименте на растяжение было использовано оборудование:

- Машина испытательная универсальная типа BISS UTM-100кН (машина применяется для испытания образцов материала и элементов конструкций на растяжение – сжатие в диапазоне усилий $\pm 10 \dots \pm 100 \text{кН}$. Применяется на предприятиях различных отраслей промышленности). Рис.7



Рис.7 Машина испытательная универсальная типа BISS UTM-100кН

- Штангенциркуль (Штангенциркуль— это универсальный измерительный прибор для определения линейных размеров деталей с установленной точностью. С его помощью можно производить измерения наружных и внутренних размеров деталей, а также глубины отверстий при условии наличия выдвижной штанги). Рис.8



Рис.8 Штангенциркуль

- Микрометр торговой марки «NORGAU» 041057025 (Микрометр-измерительный прибор для высокоточного (с погрешностью от 2 до 50 мкм) определения линейного размера. Использование микрометра возможно в любой производственной области, где требуется определение размеров детали). Рис.9



Рис.9 Микрометр торговой марки «NORGAU»

В результате испытания на растяжение было испытано шесть образцов с размерами, указанными в таблице 2 и вид образцов до испытаний на растяжение (RTD) рис.10:

Таблица 2

Размеры образцов для испытаний

Образец	Толщина, мм	Ширина, мм	Площадь сечения, мм ²
M5-P0-07	2,110	25,09	52,95
M5-P0-08	2,190	25,09	54,95
M5-P0-09	2,185	24,77	54,13
M5-P0-10	2,150	25,13	54,04
M5-P0-11	2,111	25,01	52,80
M5-P0-12	2,185	24,84	54,28

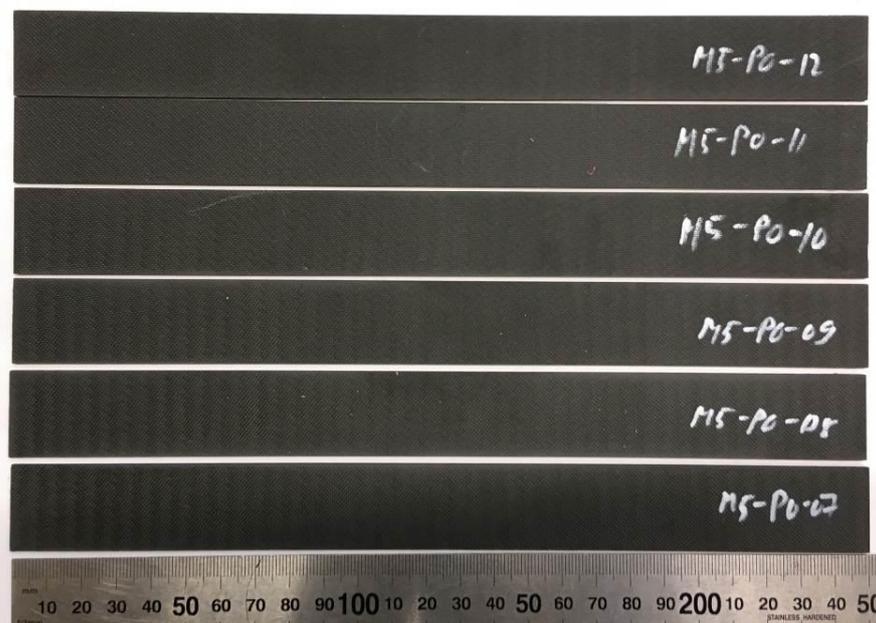


Рис.10 Вид образцов до испытаний на растяжение

После проведения испытаний на испытательной машине были получены результаты, указанные в таблице 3 и вид образцов после испытаний на растяжение (RTD) Рис.11

Таблица 3

Результаты испытания на растяжение

Образец	Макс. нагрузка $R_{\text{макс}}$, кН	Предел прочности σ_B , МПа	Модуль упругости E , ГПа
M5-P0-07	39,5	746	51,4
M5-P0-08	42,2	769	49,5
M5-P0-09	40,7	751	49,0
M5-P0-10	39,8	736	49,1
M5-P0-11	41,4	784	53,3
M5-P0-12	40,0	737	49,6
Среднее значение		754	50,3
Стандартное отклонение		19	1,7

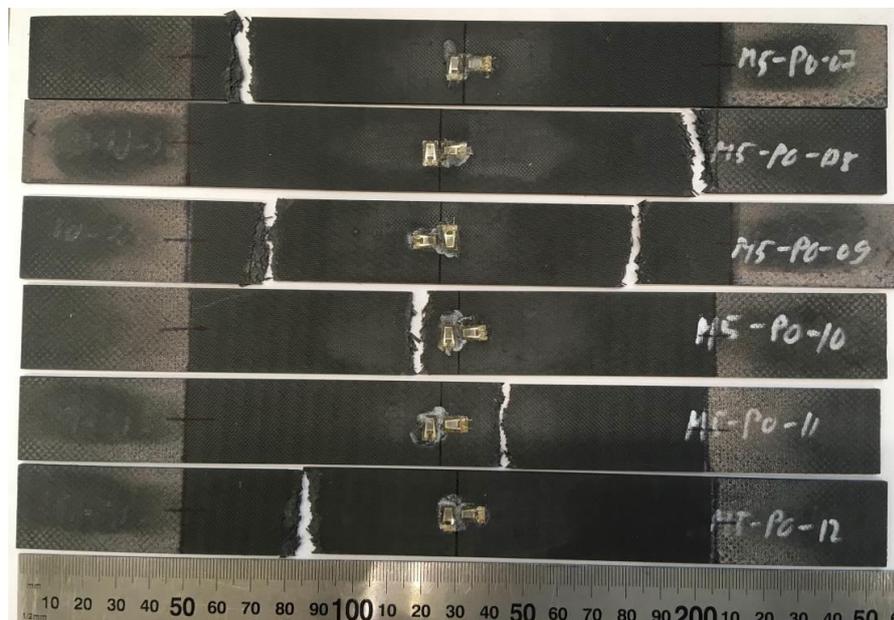


Рис.11 Вид образцов после испытаний на растяжение

Ранее была рассчитана удельная прочность и жесткость АМг и композиционного материала на основе справочных характеристик. После получения характеристик композиционных материалов в результате эксперимента, так же рассчитаем удельную прочность и жесткость АМг и композиционного материала, чтобы подтвердить, что прочность композиционного материала выше АМг.

Удельная прочность для АМг:

$$\sigma_{\text{удельная}} = \frac{\sigma}{\rho} = \frac{412}{2760} = 0,14$$

Удельная прочность для композиционного материала:

$$\sigma_{\text{удельная}} = \frac{\sigma}{\rho} = \frac{754}{1560} = 0,48$$

Удельная жесткость для АМг:

$$E_{\text{удельная}} = \frac{E}{\rho} = \frac{76}{2760} = 0,027$$

Удельная жесткость для композиционного материала:

$$E_{\text{удельная}} = \frac{E}{\rho} = \frac{50,3}{1560} = 0,032$$

Из сравнения результатов, полученных в результате эксперимента видно, что удельная прочность композитов превосходит металлы, в нашем случае алюминий АМг, так же расчеты подтверждают, что композиционный материал более жесткий.

Так как мы подтвердили в результате эксперимента превосходство двух этих свойства композиционного материала по отношению к алюминию типа АМг, то можем рассмотреть вариант применения данного типа композиционного материала для конструкции контейнера топливного бака вертолета типа Ми-8.

3. Результат практической части

3.1 Применение композиционных материалов в конструкции вертолета Ми-8

Вертолет Ми-8 — это уникальный вертолет. Созданный в далеких 60-х годах прошлого века он прошел огонь и воду, его неоднократно модернизировали, но он и сейчас сохранил свой неповторимый облик, такой каким его создал М.Л. Миль. Машина до сих пор очень востребована, она постоянно улучшается и поставляется по всему миру (Рис.12).

Только представьте себе, какой конструкторский потенциал развития был заложен его создателем. Форма и обводы вертолета исключительно гармоничны, изящны и смотрятся современно спустя десятки лет после своего создания.

Знал ли Михаил Леонтьевич Миль, делая цветной набросок будущего вертолета Ми-8 (Рис.13), что его «Восьмерка» станет самым массовым средним вертолетом в мире и самым любимым у летчиков.



Рис.12 Вертолет Ми-8 и М.Л. Миль



Рис.13 Цветной набросок М.Л. Миля

Рассказано про нашу Восьмерку много, но одно из ее качеств хочется выделить особо. Этого нет ни у одного из ее зарубежных конкурентов — это надежность и неприхотливость в эксплуатации.

Рассмотрим применение композиционного материала, свойства которого были рассмотрены в данной работе, для внедрения его в конструкцию контейнера топливного бака вертолета типа Ми-8.

В настоящее время на вертолетах типа Ми-8 установлены подвесные топливные баки из алюминия АМг снаружи у бортов фюзеляжа. Каждый бак крепят к фюзеляжу тремя стальными лентами, которые в свою очередь - к специальным штампованным кронштейнам. Кронштейны крепят к фюзеляжу болтами. Для улучшения противокоррозионной защиты баков в зоне лент их крепления войлочные прокладки приклеивают герметиком ВИТЭФ-1 (Рис.14).



Рис.14 Основной подвесной топливный бак

После аварийного падения вертолётов нередко случаи возникновения пожара на борту, вследствие деформации конструкции топливных баков, короткого замыкания или контакта разлитого топлива с нагретыми предметами. В этом случае процент травматизма и смертности значительно возрастает. В авиационных правилах АП-29 прописано, что конструкция топливных баков не должна иметь таких разрушений, которые могли бы вызвать течь топлива на источник возгорания, в пределах указанных нагрузок.

Для решения задачи, которая была поставлена в данной работе, были приняты ряд конструктивных решений, а также использование композиционных материалов.

Для внедрения в конструкцию основного топливного бака композиционных материалов и учитывая сложность конструкции из-за боковой стойки шасси, предлагаю рассмотреть ниже представленную конструкцию контейнера основного топливного бака (Рис.15).

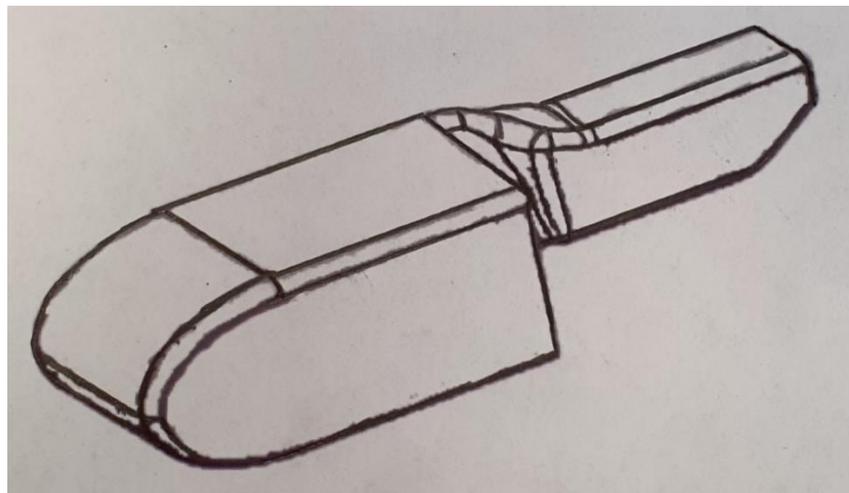


Рис.15 конструкцию основного топливного бака из композита

Данная конструкция относится к баку для хранения топлива, в частности к баку из композиционного материала, представляющему собой наиболее подходящий вариант исполнения для бака, который обеспечивает подавление электрохимической коррозии, предотвращающий ухудшение прочностных характеристик и снижает массу. Бак из композитного материала содержит: корпус бака, внутри которого находится аварийстойкая топливная система, которая представляет собой размещение топлива внутри резиновых (мягких) контейнеров, соединенных между собой системой трубопроводов (Рис.16). Аварийстойкая топливная система предназначена для предотвращения утечек топлива из разрушенных трубопроводов и топливных баков вертолета при жесткой посадке, что позволяет снизить вероятность пожара и повысить безопасность полетов.



Рис.16 Аварийстойкий топливный бак

Ниже перечислены конструктивные особенности с кратким описанием и иллюстрациями топливного бака. Ближайшим аналогом является комплект контейнеров для размещения топливных баков вертолета S-92 (Рис.17).



Рис.17 Вертолет фирмы Сикорский S-92

Ниже представленные контейнеры для топливных баков характеризуются:

- наличием в комплекте двух зеркально выполненных контейнеров наружного размещения;
- выполнением каждого контейнера сложной геометрической формы с радиусоидальными углами;
- выполнением носовой обтекаемой части, закругленной спереди;
- наличием основного корпуса кубической формы;
- наличием переходной части сложной геометрической формы для конструктивного обхода стойки шасси;
- выполнением задней части в форме параллелепипеда с зауженной конечной частью, в данном отсеке так же можно разместить мягкий топливный бак, либо разместить систему аварийного покидания (плот или надувные баллонеты), в случае если данный вертолет будет совершать полеты над водной поверхностью;
- выполнением контейнеров с плоским дном, наличие такой конструкции позволит осуществить установку и крепеж баков к фюзеляжу, так же такая конструкция может играть роль дополнительных поплавков в случае экстренной посадки на водную поверхность и может увеличить время нахождения вертолета над водой до приезда спасателей (Рис.18).

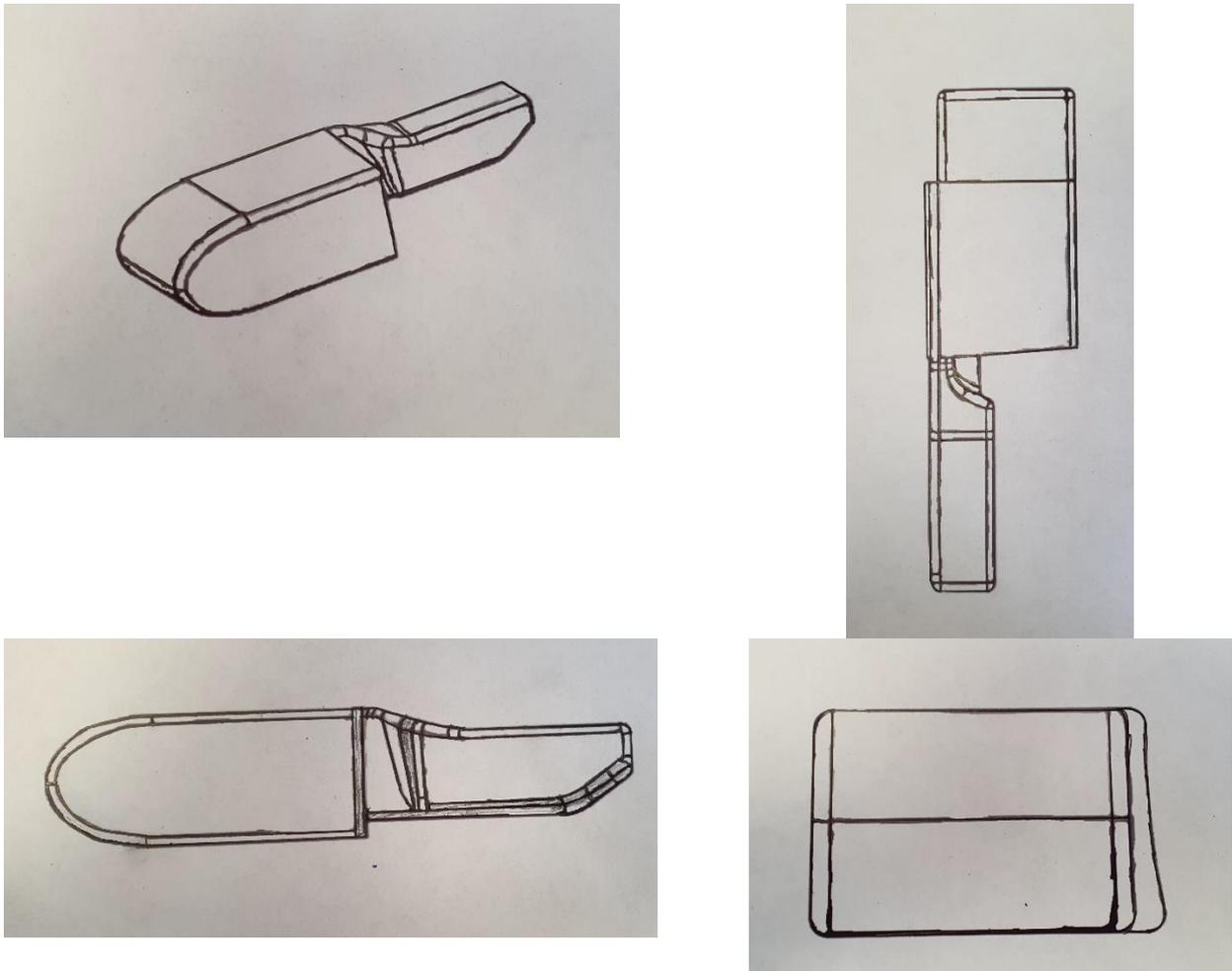


Рис.18 Предлагаемая конструкция топливных баков из композиционных материалов

Создание оптимальной по прочности, массе и стоимости конструкции с использованием полимерных композиционных материалов невозможно без применения современных методов расчета на прочность с учетом свойств материалов. Причем эти расчеты должны быть подкреплены достаточным количеством экспериментальных данных. В противном случае можно либо совсем не получить никаких преимуществ от ПКМ, либо их преимущества будут сведены к минимуму, по сравнению с которыми затраты, связанные с изготовлением композитных деталей и агрегатов, окажутся такими, что заставят отказаться от их применения в данной конкретной конструкции. В данном случае нами были проведены расчеты предложенного композиционного материала, проведено испытание на растяжение, произведено сравнение результатов с алюминием АМг, все это подтвердило возможность применения данного материала для предложенной

конструкции топливных баков для вертолета типа Ми-8. Конечно для более точного результата необходимо провести еще множество расчетов и испытаний.

Заключение

В настоящее время наиболее важными требованиями, предъявляемыми к конструкции ЛА можно выделить: минимальную массу, максимальную жесткость и прочность узлов и агрегатов, высокий ресурс работы конструкций в условиях эксплуатации, высокую надежность ЛА, а применение КМ обеспечивает возможность снижать массу конструкции, повышать ресурсы и мощность машин и агрегатов, создавать принципиально новые детали и конструкции сложной формы. Так же после аварийного падения вертолётов нередки случаи возникновения пожара. В этом случае процент травматизма и смертности значительно возрастает. Для решения данных задач принимают конструктивные изменения, а также используют КМ.

Данные вопросы были рассмотрены на примере исследования полимерного композиционного материала на основе углеродистой ткани на растяжение, проведены расчеты на прочность и жесткость. По результатам расчетов и испытаний была предложена конструкция основного топливного бака вертолета типа Ми-8 из композиционного материала. Описана конструкция топливного бака и вариант применения.

Был проведен анализ физических свойств и доступных справочных механических характеристик полимерных композиционных материалов на основе углеродистой ткани (ПКМ) АСМ 102-С200Т по сравнению с листовым алюминием марки АМг. По его результатам были произведены расчеты удельной прочности и удельной жесткости с последующими выводами. На базе лаборатории механических и климатических испытаний образцов, материалов и компонентов авиационной техники ООО «Исследовательский Комплекс Центра Технологического Обеспечения» были проведены испытания монолитной панели из препрега на основе углеродной ткани АСМ 102-С200Т по определению механических характеристик при растяжении сухих образцов при комнатной температуре $23\pm 5^{\circ}\text{C}$. По результатам были произведены расчеты удельной прочности и удельной жесткости и проведен сравнительный анализ результатов по справочным данным и данных полученных в

результате испытаний. Сделаны выводы о применимости выбранного материала и доказано, что композиционные материалы имеют большее значение прочности и жесткости по сравнению с алюминием (АМг), из которого в настоящее время изготавливают основные топливные баки вертолетов типа Ми-8.

Задачи, поставленные в начале данной работы, были выполнены в полном объеме и так же подтверждена гипотеза о увеличении применения КМ в авиастроении, так как в конструкцию современных вертолетов в последнее время внедряется все больше элементов конструкции из композиционных материалов, что уже снизило массу на некоторых вертолетах, таких как вертолеты фирмы Камов, увеличило дальность и облегчило процесс изготовления сложных элементов.

Список использованной литературы:

1. В.Т. Лизин, В.А. Пяткин «Проектирование тонкостенных конструкций».
2. Авиаконструкция из композиционных материалов (рекомендательный циркуляр РЦ ПКМ1-(107В)).
3. Ever L. Barbero «Introduction to COMPOSITE MATERIALS DESIGN third edition».
4. Композитная история, статья 09.07.2021
5. Статья «Композиты 21 века: возможности и реальность» в журнале «Neftegaz.RU» (№2, Февраль 2019) Автор: Гавриленко Валентина Александровна заместитель директора по НИР, ОАО «НИИТЭХИМ»
6. Web:<https://rostec.ru/news/kompozitnaya-istoriya/>
7. Краткая история композитных материалов <https://smicomposites.com/then-now-a-brief-history-of-composites-materials/>
8. Краткая история авиационных материалов/, статья 12.11.2019г. <https://www.thomasnet.com/insights/a-brief-history-of-aircraft-materials/>
9. https://studref.com/642758/tehnika/stroenie_kompozitsionnyh_materialov
10. <http://www.promtrader.ru/public/prom-syriyo-materialy/preimushchestva-i-nedostatki-kompozitnyh-materialov.html>
11. Межгосударственный авиационный комитет. Авиационные правила, часть 29. 2003. 129 с.
12. Лещинер, Л.Б. Проектирование топливных систем самолётов / Л.Б. Лещинер, И.Е. Ульянов. – М., 1975.
13. A device for biaxial testing in uniaxial machines. Design, manufacturing and experimental results using cruciform specimens of composite materials. Article in *Experimental Mechanics* / August 2017 (Устройство для двухосевых испытаний в одноосных машинах. Проектирование, изготовление и результаты экспериментов с использованием крестообразных образцов из композиционных материалов).

14. Михеев В.Р. «Московский вертолетный завод им. М.Л. Миля» - Москва, 2007г.

Результаты испытаний:

1. Протокол испытаний №14 от 28.08.2022 монолитной панели из препрега на основе углеродной ткани на растяжение при комнатной температуре.
2. Протокол испытаний №15 от 28.08.2022 монолитной панели из препрега на основе углеродной ткани на межслойный сдвиг при комнатной температуре.

Приложение:

1. Протокол испытаний №14 от 28.08.2022 монолитной панели из препрега на основе углеродной ткани на растяжение при комнатной температуре.
2. Протокол испытаний №15 от 28.08.2022 монолитной панели из препрега на основе углеродной ткани на межслойный сдвиг при комнатной температуре.
3. Образец исследуемого композиционного материала.