

УДК 621.385

**СОЗДАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ
ВЕРТОЛЕТНЫХ БЛОКОВ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ
ТЕХНОЛОГИИ**

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

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. В данной статье обсуждаются проблемы создания интегрированной системы контроля технического состояния особо ответственных вертолетных агрегатов, а также анализируются варианты ее создания. Оптоволоконная технология рассматривается как технология, на основе которой можно построить интегрированную систему, поскольку эта технология позволяет измерять различные физические параметры, такие как вибрация, деформация, температура, акустическая эмиссия и другие параметры, и благодаря миниатюрным размерам волоконно-оптического световода. Он может быть встроен в конструкцию ПКМ, что является важным фактором в

связи с ростом использования ПКМ при проектировании и производстве вертолетов. Результаты стендовых и летных испытаний планера вертолета и лопастей ротора с крепежными элементами с использованием волоконно-оптических датчиков деформации на основе волоконно-оптической решетки Брэгга демонстрируют принципиальную возможность создания системы контроля технического состояния роторов вертолета с помощью волоконно-оптических датчиков. Приведены примеры создания других элементов интегрированной системы мониторинга, основанной на использовании волоконно-оптической технологии, таких как система оповещения о пробое воздушного потока и колебаниях на лопастях винта вертолета, система измерения веса и выравнивания вертолета, система контроля технического состояния планера.

Ключевые слова: волоконно-оптическая световод, оптические датчики, система мониторинга, полимерно-композиционные материалы, система контроля безопасности, проектирование вертолетов, акустическая эмиссия, стендовые и летные испытания.

1. Введение

В настоящее время основные компоненты самолета эксплуатируются на назначенном ресурсе с заранее определенным интервалом обслуживания, обеспечивая в основном только визуальный контроль. В этом случае один и тот же ресурс присваивается всему парку машин одного типа, что не предполагает индивидуального подхода к обслуживанию оборудования. Такой подход к эксплуатации не всегда позволяет своевременно обнаруживать предаварийные состояния самолета, связанные с появлением повреждений, в том числе в труднодоступных местах конструкций, что часто приводит к неожиданному отказу (поломке) всего блока, кроме того, в связи с растущими требованиями к безопасности полетов и обслуживанию [1], для разработчика и изготовителя авиационного оборудования крайне необходимо своевременно получать объективную информацию о техническом состоянии основных узлов во всем

парке, чтобы сократить финансовые затраты и улучшить планирование ремонтных работ с поставкой комплектующих. Кроме того, использование для полимерных композиционных материалов (ПКМ) аналогичных методов и подходов к эксплуатации, как для металлов, невозможно в плане обеспечения требуемой безопасности из-за массового использования ПКМ в авиационных конструкциях (не менее 60% для Вертолет Ка-62, более 30% для МС-21). Этот фактор в первую очередь связан с принципиально иным характером разрушения и формирования повреждений при строительстве ПКМ. Таким образом, наиболее характерным повреждением ПКМ является внутреннее расслаивание, вызванное ударом, которое, в свою очередь, не обнаруживается при внешнем осмотре оборудования [2].

В совокупности для создания конкурентоспособного, безопасного авиационного оборудования необходимо иметь в составе летательного аппарата средства автоматического объективного контроля за техническим состоянием агрегатов, своевременного предупреждения пилота и оператора о возможных неисправностях и выдачи рекомендаций для дальнейшего обслуживания оборудования. В частности, существует технология HUMS (системы мониторинга состояния здоровья и использования) для вертолетов, которая разрабатывается более 20 лет, что позволяет обеспечить постоянный мониторинг технического состояния отдельных вертолетных единиц. Одним из представителей этой технологии является система T-HUMS, разработчик RSL, которая устанавливается на вертолетах типа АН-64 и СН-53 и отвечает за мониторинг работы двигателя, трансмиссии, коробок передач, балансировку и коаксиальные винты [3]. Как правило, такие системы основаны на принципе контроля вибрации, что позволяет оценивать изменения амплитудно-частотного спектра движущихся элементов вертолетных блоков, без возможности обнаружения скрытых механических повреждений в таких конструкциях, как лопасти рулевого управления и несущего винта с их элементами крепления и элементами планера вертолета [4].

Для обнаружения механических повреждений в высоконадежных и сильно нагруженных конструкциях необходимы принципиально разные инструменты мониторинга для обеспечения максимального контролируемого охвата, что актуально для расширенных конструкций РСМ (планера, лопастей ротора). Одним из вариантов таких инструментов контроля является метод контроля акустической эмиссии в сочетании с измерением деформаций в конструкциях.

Рассматривается волоконно-оптическая технология как одна из возможных базовых технологий, на основе которой может быть создана комплексная система контроля технического состояния всех высоконадежных вертолетных единиц [5].

2. Комплексная система контроля технического состояния высокочувствительных вертолетных агрегатов.

2.1 Физический принцип базовых технологий Достижения в телекоммуникационной отрасли

Связано это прежде всего с бурным развитием волоконно-оптической технологии, которая включает в себя разработку новых типов оптоэлектронных устройств, отличающихся своими малыми массогабаритными характеристиками. Кроме того, в настоящее время, используя оптоволоконный световод, уже можно передавать не только информационные сигналы, но и измерять различные физические величины [6]. Это достигается за счет наличия различных физических явлений при прохождении света внутри стеклопластика, таких как дисперсия Мандельштама-Бриллюэна, Рамана и Релли, появления интерференционных картин из-за применения периодических структур с различным показателем преломления внутри волокна. Волокнистая брэгговская решетка (FBG), представляющая собой периодическую структуру внутри оптического волокна, может использоваться для измерения деформации и температуры внешнего объекта. Для измерения таких параметров, как вибрация и акустическая эмиссия, для обнаружения повреждений, таких как трещины и внешние воздействия на структуру ударного типа, можно использовать

волоконно-оптические интерферометрические датчики, например, на основе резонатора Фабри-Перо [7]. Резонатор Фабри-Перо (или интерферометр Фабри-Перо) представляет собой отрезок оптического волокна длиной 7–10 мм с зеркалами, нанесенными с обеих сторон с различной отражающей способностью (рис. 1). Принцип действия основан на следующем эффекте: когда оптическое излучение проходит через оптическое волокно, свет от зеркала № 1 частично отражает свет в противоположном направлении и попадает на фотоприемник. Оставшаяся часть оптического излучения, проходящая по длине пути от зеркала № 1 до зеркала № 2, отражается от последнего и также падает на тот же фотоприемник. В результате сигнал помех записывается с использованием фотоприемного устройства в зависимости от длины оптического пути между зеркалом № 1 и зеркалом № 2, что, в свою очередь, зависит от внешних воздействий, в том числе акустических, на чувствительную часть оптического волокна [8].



Рис. 1. Оптоволоконный датчик Фабри-Перо

На основе физических принципов, описанных выше, становится возможным создать сеть чувствительных волоконных датчиков, способных измерять различные величины, такие как температура, вибрация, деформация, акустическая эмиссия и другие. Более того, благодаря миниатюрному размеру чувствительных волоконно-оптических датчиков (диаметр оптического волокна составляет 125 мкм), наиболее эффективным решением для установки датчиков является их интеграция в РСМ при изготовлении конструкции вертолетной техники. Эффективность решения по интеграции волоконно-оптических датчиков в конструкцию ПКМ обусловлена повышенной надежностью встроенных датчиков за счет защиты конструкции от внешних механических повреждений. Кроме того, хорошая адгезия связующего вещества РСМ к

стекловолокну является дополнительным фактором в пользу интеграции волоконно-оптических датчиков в конструкцию РСМ. Таким образом, создание интегрированной системы мониторинга технического состояния высоконадежных вертолетных единиц сводится к созданию структур РСМ с волоконно-оптическими датчиками, интегрированными на стадии производства, которые аналогичны нервной системе человека (рис. 2) [9].



Рис. 2. Интегрированная система контроля технического состояния высокочувствительных вертолетных установок на основе волоконно-оптической технологии

2.2. Контроль состояния составных лопаток рулевого управления и ротора с их элементами крепления. Второй способ решения проблемы извлечения информации с датчиков с вращающихся элементов ротора вертолета заключается в использовании специальных разъемов с деталями

ротора и статора. В этом случае необходимы существенные доработки вращающейся части пропеллера для их установки на вертолете [10].

Исходя из описанной выше информации, наиболее оптимальной схемой построения системы контроля технического состояния лопаток рулевого и роторного лопаток вертолета с их элементами крепления является схема с использованием миниатюрного регистратора (вторичного преобразователя). Он установлен на втулке ротора вертолета, подключен к волоконно-оптическим датчикам деформации и акустической эмиссии, установленным на управляемых вращающихся элементах конструкции (или встроен в РСМ), и передает записанные данные с волоконно-оптических датчиков на борт. компьютер. В то же время создание миниатюрного регистратора для работы с волоконно-оптическими датчиками деформации и акустической эмиссии возможно с использованием схемы регистрации с использованием полупроводникового лазерного источника оптического излучения VCSEL.

2.3. Стендовые и летные испытания системы контроля технического состояния составных лопастей рулевого винта и рулевого винта с их элементами крепления

Экспериментальные образцы лопастей винта вертолета типа Ка-62 и основного винта усовершенствованной лаборатории высокоскоростного вертолета (AL HSH) со встроенными волоконно-оптическими датчиками деформации на основе FBG и акустической эмиссии на основе интерферометров Фабри-Перо (рис. 3) изготовлены на предприятии «Вертолеты России» для оценки возможности создания системы контроля за техническим состоянием составных лопаток винтов рулевого и роторного винтов вертолета с элементами их крепления на основе использования волоконно-оптических кабелей. датчики оптической деформации и акустической эмиссии [11]. В то же время более 50 волоконно-оптических датчиков были встроены в лопасть ротора AL HSH.

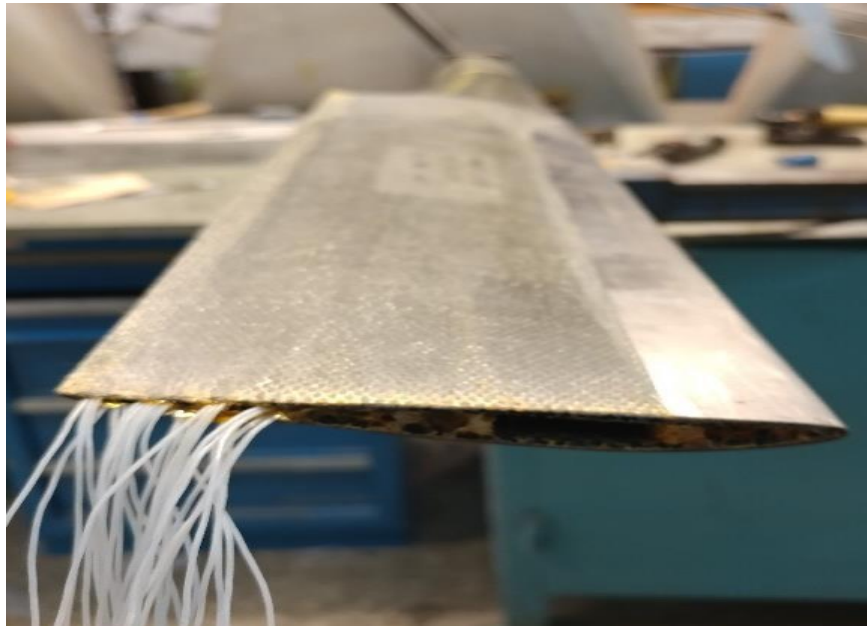


Рис. 3. Лезвие хвостового винта типа Ка-62 со встроенными волоконно-оптическими датчиками для статических испытаний.

Для оценки производительности встроенных волоконно-оптических датчиков были проведены стендовые статические и циклические испытания образцов лопаток рулевого управления и несущего винта, а также летные испытания разработанной системы контроля технического состояния элементов крепления (рычагов) Винт AL HSH. В состав системы входили: волоконно-оптические датчики деформации, наклеенные на поверхность лезвий поворота рычагов; миниатюрный регистратор (вторичный преобразователь) и бортовой компьютер (рисунки 6,7). Типичные результаты испытаний показаны в виде графиков на рисунках 4 и 5. Wi-Fi был использован в качестве метода для передачи данных от оптоволоконна [12].

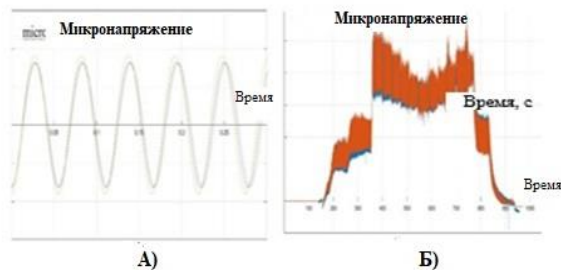


Рис. 4

а) График изменений деформаций, измеренный с помощью волоконно-оптических датчиков, встроенных в лопасть ротора, при проведении стендовых циклических испытаний.

б) График изменений деформаций рычага поворота лопасти во время полета AL HSH, измеренный с помощью волоконно-оптических датчиков, наклеенных на поверхность детали

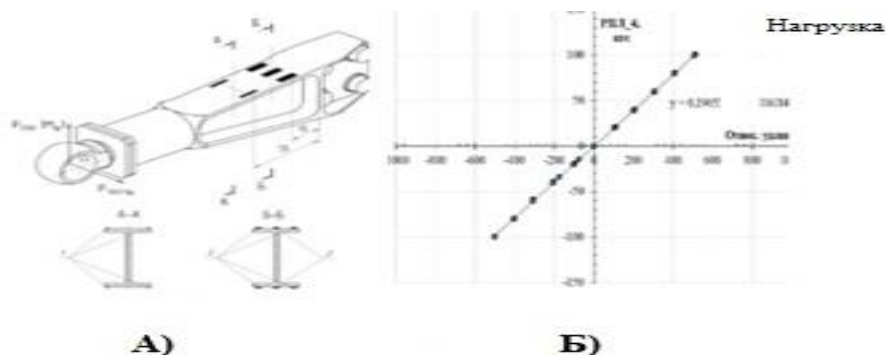


Рис. 5

- а) Схема маркировки волоконно-оптических тензодатчиков на рычаге вращения лопасти ротора AL HSH;
- б) результат калибровки волоконно-оптических датчиков

В настоящее время ведется разработка усовершенствованного самолета (вертолета) для возможности достижения более высоких скоростей. Разработка и создание бортового комплекса для обнаружения срыва воздушного потока и трепетания на лопастях несущего винта вертолета обеспечит безопасность полета на высоких скоростях, своевременно уведомив пилота о наличии сваливания, что приведет к резкому усилению вибраций и нагрузки как на лопасти, так и на не вращающиеся части наклонной пластины, что может привести к потере несущей способности вертолета [13].



Рис. 6. Бортовой компьютер



Рис. 7. Установленные на вертолете элементы системы контроля технического состояния вращающихся элементов лопасти несущего винта.

3. Перспективы применения результатов

Результаты, полученные в ходе стендовых и летных испытаний системы контроля технического состояния лопаток основного и хвостового роторов вертолета с их креплениями, показывают, что в принципе возможно создание комплексной системы контроля за техническим состоянием особо ответственных вертолетные агрегаты на основе использования волоконно-оптических датчиков [14].

Другим элементом этой сложной системы может быть бортовая сигнализация для прерывания воздушного потока и трепетания на лопастях ротора вертолета с использованием волоконно-оптических датчиков деформации, установленных на невращающихся элементах вертолётной

кососимметричной матрицы. Необходимость создания такой системы определяется следующими факторами:

1) Основным ограничением для многих современных вертолетов является нарушение потока на отстающих лопастях, приводящее на высоких скоростях полета к резкому увеличению нагрузок на ротор и систему управления и росту вибрации вертолета. В результате расчетная крейсерская скорость вертолета без вспомогательной тяги при современном уровне технологического развития находится в диапазоне 280-370 км / ч. Для достижения более высоких скоростей требуется улучшение аэродинамики ротора и фюзеляжа или значительное изменение конфигурации вертолета.

2. Переход на операцию перекоса вертолета по фактическому состоянию, а не по назначенному ресурсу. Стоит отметить, что научно-исследовательский центр IRT разрабатывает бортовую систему сигнализации для нарушения воздушного потока и трепетания на лопастях винта вертолета и контроля технического состояния поворотной пластины в составе. В рамках этого проекта были проведены стендовые и летные испытания экспериментальной модели системы, подтверждающие возможность обнаружения явлений срыва на лопастях винта вертолета путем измерения нагрузок с помощью волоконно-оптических датчиков, установленных на невращающихся элементах. из автомата перекоса.

Другим элементом интегрированной системы может быть система измерения веса и центрирования груза вертолета с помощью волоконно-оптических датчиков деформации, установленных на шасси вертолета. В отличие от электрических тензодатчиков, которые пытаются использовать для создания такой системы, волоконно-оптические датчики имеют ряд преимуществ, таких как [15]:

- отсутствие электромагнитного датчика,
- высокая чувствительность к измеренному значению,
- нет ограничений по длине сигнала подачи по оптоволоконному кабелю,
- миниатюрные размеры,

- отсутствие электропитания на оптоволоконных датчиках.

Благодаря результатам, полученным при реализации проекта по разработке системы раннего обнаружения повреждений конструкций от современных самолетов РСМ на основе волоконно-оптической технологии, стало возможным создание системы контроля технического состояния планера вертолета, которая является частью комплексной системы контроля технического состояния вертолетных единиц высокой ответственности. Система включает в себя волоконно-оптические датчики деформации и волоконно-оптические датчики акустической эмиссии, встроенные в компоненты планера, изготовленные из РСМ или установленные на поверхности его металлических элементов. Принцип работы системы основан на следующем: во время эксплуатации вертолета система регистрируется с использованием волоконно-оптических датчиков нагрузки, воздействующих на контролируемую конструкцию, и акустических сигналов, возникающих в конструкции, когда происходит механическое повреждение вследствие нагрузки и / или ненормальное внешнее воздействие, например падение инструмента при обслуживании вертолета. В этом случае система регистрирует факт наличия этого воздействия, определяет его местоположение и энергию. Позже, при наземном анализе данных, зарегистрированных системой, проводится детальная проверка места структурного повреждения и делается вывод о характере и допустимости повреждения. Кроме того, можно отслеживать развитие ресурса конструкции и своевременно определять ее состояние до разрушения при достижении накопления порогового значения повреждения, регистрации в режиме реального времени параметров нагрузки, действующих на конструкцию, и накопления сигналов акустической эмиссии, которые в первую очередь связано с формированием и развитием скрытого внутреннего повреждения конструкции.

Стоит также отметить, что благодаря описанным выше преимуществам в будущем можно использовать волоконно-оптические вибрационные датчики (акселерометры) для замены существующих пьезоэлектрических датчиков,

используемых при создании систем вибродиагностики и контроля производительности двигателя, коробок передач и трансмиссий.

Таким образом, совокупное применение всех вышеперечисленных систем позволит создать комплексную систему контроля технического состояния высоко ответственных вертолетных единиц.

4. Выводы

В статье рассмотрены проблемы создания интегрированной системы мониторинга технического состояния высокоточных вертолетных агрегатов и проанализированы варианты ее создания. Целесообразно рассматривать волоконно-оптическую технологию как технологию, на основе которой можно построить интегрированную систему. Поскольку он может использоваться для измерения различных физических параметров, таких как вибрация, деформация, температура, акустическая эмиссия и другие параметры, а также благодаря миниатюрным размерам волоконно-оптического световода, он может быть встроен в конструкцию РСМ, которая представляет собой Соответствующий фактор обусловлен использованием ПКМ при проектировании и изготовлении вертолетов.

Кроме того, были рассмотрены результаты стендовых и летных испытаний образцов лопаток рулевого и роторного лопаток вертолета с их элементами крепления с использованием волоконно-оптических датчиков деформации на основе FBG. Результаты испытаний показали принципиальную возможность создания системы контроля технического состояния вращающихся элементов основного и хвостового винтов вертолета с использованием волоконно-оптических датчиков.

Кроме того, существуют примеры создания других элементов комплексной системы мониторинга, основанной на использовании волоконно-оптической технологии, такой как система сигнализации о потоке воздушного потока и трепетании на лопастях винта вертолета, система измерения вес и выравнивание груза вертолета, и система контроля технического состояния планера.

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.

**DEVELOP AN INTEGRATED TECHNICAL SITUATION CONTROL
SYSTEM TO CONTROL HIGH QUALITY HELICOPTERS BASED ON
FIBER OPTIC TECHNOLOGY**

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

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. This article draws attention to the difficulties in developing an integrated approach, especially the evaluation and evaluation of the main helicopter technology. Fiber optic technology is a technology that allows you to create a unified system. This allows the measurement of various physical parameters such as vibration, distortion, temperature, volume and other parameters, given the magnitude of optical fiber science. RMB can be integrated into production, which is an important factor in the amount of RMB related to the design and manufacture of helicopters. The test results, the test bench, and the rotor of the helicopter and light using optical fiber transmission in the Prague fiber optic filter emphasize the importance of developing technology to track the helicopter's use of optical fiber. Other embodiments of the use of optical transmission systems that use fiber-optic

technology, such as cable warning of explosives and helicopter damage as well as system weight and transitions. The conduction system monitors air technology.

Keywords: fiber-optic light guide, optical sensors, monitoring system, polymer-composite materials, safety control system, helicopter design, acoustic emission, bench and flight tests.