УДК 620.179.18+621.383.8+535.8

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ НЕСУЩЕГО ВИНТА ВЕРТОЛЁТА

© 2016 А.И. Данилин, С.В. Жуков

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 11.10.2016

В работе рассматриваются оптоэлектронные системы, обеспечивающие контроль деформационного состояния лопастей несущего винта вертолёта. Рассматриваемые оптоэлектронные системы, используют волоконно-оптические, оптоэлектронные и лазерные преобразователи для выполнения поставленной задачи. В процессе анализа оптоэлектронные системы разделены на три основные группы, такие как системы, основанные на приеме отраженного светового потока, системы на основе лазерных модулей и системы с использованием оптических сенсоров встроенных в лопасти. Системы классифицированы по принципу действия и по типу используемых датчиков, выявлены их особенности, достоинства и недостатки.

Ключевые слова: вертолёт, несущий винт, лопасть, законцовка лопасти, несоконусность, лазер, оптический датчик, солнечное излучение, маховое движение, скручивание, светочувствительный элемент.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из самых распространенных и на сегодняшний день незаменимых средств передвижения и доставки грузов в труднодоступные места – является вертолёт. Поэтому с каждым годом вертолётный парк совершенствуется и становится все шире и разнообразнее.

Важнейшим узлом вертолёта является несущий винт, обеспечивающий как подъемную силу, так и полетные качества вертолёта. Несущий винт состоит из втулки несущего винта, шарниров и лопастей. Именно от целостности этих деталей зависит, во многом, работоспособность и целостность всего вертолёта. Знание деформационных характеристик лопастей несущего винта вертолёта (HBB) в процессе эксплуатации позволяет выявлять конструктивно-технологические недостатки или неисправности на ранней стадии их возникновения и принимать оперативные меры по их устранению.

Стоит отметить, что используемые штатно системы контроля не дают точной и всесторонней оценки состояния несущего винта.

Одними из самых распространенных среди известных систем определения деформационного состояния несущего винта вертолёта являются оптоэлектронные системы (ОЭС).

Главными особенностями ОЭС являются:

 возможность использования в качестве источника излучения естественный солнечный свет; • необходимость использования подсветки в условиях недостаточного естественного солнечного освещения;

 возможность бесконтактного снятия деформационных характеристик лопастей;

• небольшое энергопотребление;

• значительное влияние погодных условий, времени суток и запыленности атмосферы, на работу светочувствительного сенсора;

• необходимость калибровки и юстировки оптоэлектронного преобразователя.

1. СПОСОБЫ И УСТРОЙСТВА, ОСНОВАННЫЕ НА ПРИЕМЕ ОТРАЖЕННОГО СВЕТОВОГО ПОТОКА

В 2000 г. было предложено устройство для измерения координат лопастей вращающегося несущего винта вертолёта [1]. В основу работы устройства положен прием и обработка модулированного потока солнечного излучения, где в качестве модулятора светового потока выступают лопасти HBB. Принцип измерения основан на фотографировании лопасти на фоне неба и постоянной перезаписи меняющегося фонового сигнала. Наличие функции перезаписи фона позволяет вычитать из общего видеосигнала его фоновую составляющую, в каждый момент измерения и обрабатывать только информативную, очищенную, от помех составляющую видеосигнала, что значительно повышает помехоустойчивость устройства. Структурная схема устройства представлена на рис. 1.1.

В 2009 изобретение Кузнецова А.М. было пересмотрено и модернизировано Борисовым Ю.А., и, как результат, было запатентовано изобретение «Способ измерения несоконусности

Данилин Александр Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиотехники. E-mail: aidan@ssau.ru

Жуков Семен Викторович, аспирант кафедры радиотехники. E-mail: zhukovsv91@inbox.ru



Рис. 1.1. Структурная схема устройства для измерения координат лопастей НВВ

лопастей несущего винта вертолёта и устройство для его осуществления» [2]. Принцип работы устройства основан на фотографировании законцовок лопастей НВВ на фоне неба и последующей обработке фотографий. Предложенный способ позволяет измерять несоконусность лопастей вертолёта. Структурная схема данного устройства представлена на рис. 1.2.

Предложенный способ измерения несоконусности заключается в том, что опорный кадр изображения лопасти на фоне неба формируют путем усреднения всех кадров изображения за несколько оборотов несущего винта. Затем на базе информации об опорном кадре и усредненном значении его превышения формируется опорная информация. Далее блок цифровой обработки информации сравнивает принятый сигнал с опорной информацией для определения деформационного состояния лопастей.

Одним из примеров зарубежных аналогов рассмотренных выше ОЭС, является оптическая следящая система для определения позиции вращающегося тела [3]. Данная оптическая система используются для обнаружения перемещений НВВ во время полета вертолёта. Система включает в себя оптический датчик, объектив и светочувствительные элементы. Лопасть, проходя через поле зрения объектива, модулирует световой поток, изменение которого регистрирует светочувствительный элемент (СЭ). СЭ, соответственно, формирует выходные сигналы, изменяющиеся во времени и зависящие от параметров состояния лопасти (амплитуда махового колебания, скорость, скручивание, угол установки и т.п.). Изображение, сформированное объективом, включает в себя лопасть и фон, которые должны быть достаточно контрасты между собой, для того чтобы их можно было различить.

В ночных условиях, фон, как правило, темный и достаточный контраст, достигается путем освещения лопасти или установкой светоотражающего участка непосредственно на лопасти. Сигналы от измерительного устройства поступают на вход схемы обработки сигнала, где они анализируются, чтобы определить относительное положение лопастей при вращении. Структурная схема устройства представлена на рис. 1.3.

Еще одна зарубежная разработка для измерения положения лопастей, предложенная в 2014 г. [4], основана на приеме отраженного светового потока. В данном устройстве было предложено использовать два оптических преобразователя для отслеживания траекторий вращающихся лопастей. Принцип действия основан на измерении времени прохождения лопасти над следящим устройством. Сигнал, получаемый от камер обрабатывается процессором, при этом сравнивается информация, полученная от всех



Рис. 1.2. Структурная схема системы измерения несоконусности лопастей НВВ



Рис. 1.3. Структурная схема оптической следящей системы: 1 – лопасть HBB; 2 – область обзора; 3 – фюзеляж вертолёта; 4 – источник естественного излучения; 5 – объектив; 6 – корпус устройства;

7 – светочувствительный элемент

лопастей и делается вывод о соконусности HBB и межлопастном расстоянии. Процессор также определяет пороговый уровень сигнала для каждой лопасти на основании амплитуды сигнала от каждой лопасти.

При недостаточной яркости солнечного излучения предусмотрен источник излучения, который установлен в непосредственной близости к датчикам. Датчики вместе с источником излучения располагаются в верхней части кабины вертолёта.

Также известно устройство, предложенное Christopher I.M. в 1987 году [5], принципы работы которого аналогичен с вышеописанным решением. Устройство позволяет измерять маховые колебания лопастей, а также угловое расстояние между соседними лопастями. Принцип действия основан на приеме отраженного светового потока



Рис. 1.4. Схематический вид спереди вертолёта с установленным датчиком: 1 – область обзора; 2 – лопасть НВВ;
3 – калибровочная полоска; 4 – оборотный датчик;
5 – объектив; 6 – светочувствительный элемент

от светоотражающей полоски, расположенной на нижней части законцовки лопасти.

Датчик представляет собой ПЗС матрицу, в виде вертикальной полосы сенсоров и устанавливается под несущим винтом как показано на рис. 1.4.

Основной недостаток предложенного решения – это невозможность полноценной работы устройства при восходящем маховом отклонении.

В 2012 году Christopher I.М. предложил новое устройство контроля деформационного состояния лопастей НВВ [6]. Данное устройство представляет собой глубокую модернизацию предложенного технического решения [5]. В частности, датчик контроля махового движения лопасти был перемещен на лобовую часть кабины вертолёта (рис. 1.5), а также были добавлены датчики на носовую часть для более полного контроля деформационных параметров НВВ и хвостовую часть вертолёта, для контроля деформационного состояния рулевого винта вертолёта (рис. 1.5).

Таким образом, новые решения по сравнению с [5], позволяют контролировать целиком размах махового движения, а также угловое расстояние между лопастями.



Рис. 1.5. Расположение датчиков на корпусе вертолета

Для лабораторных исследований деформационных изменений лопастей вертолёта, в ЦАГИ была разработана видеограмметрическая система [7]. Данная система используется для бесконтактного измерения геометрических параметров и пространственных деформаций конструкций лопастных машин путем восстановления исходных координат точек, отмеченных на исследуемом объекте по зарегистрированным координатам изображений этих точек. Цифровая обработка изображения позволяет определить его геометрические параметры и преобразовать их в необходимые геометрические размеры объекта в реальном масштабе времени. В основу работы системы положен метод видеограмметрии, который заключается в мгновенной регистрации цифрового изображения исследуемого объекта в заданный момент времени, измерении двух координат u, v каждой искомой точки изображения объекта и восстановления по ним трех координат х, у, z этих точек в пространстве. Для разрешения задачи неопределенности восстановления координат используется априорная информация о координате z специальных маркеров, нанесенных на поверхность объекта исследования и хорошо различимых на цифровом изображении. Схема устройства и расположение маркеров представлена на рисунке 1.6.

Данная система имеет высокую точность измерений и может использоваться при стендовых и лабораторных испытаниях. Однако следует отметить то, что данный метод и измерительная система дают мгновенные значения деформационных параметров лопасти, включающие как статическую, так и динамическую составляющие, разделение которых в рамках данного метода пока не реализовано.



Рис. 1.6. Структурная схема видеограмметрической системы

Одной из особенностей рассмотренных выше ОЭС, является использование в качестве источника оптического излучения солнечного освещения, а в качестве модулятора - использование винта вертолёта, что позволяет отказаться от установки специальных источников света на законцовках лопастей, исключая тем самым нарушение балансировки и конструктивных изменений НВВ.

Недостатками, выше рассмотренных ОЭС, являются недостаточная точность и достоверность измерений, связанные с использованием источника оптического излучения в виде рассеянного солнечного светового потока, параметры которого сильно зависят от погодных условий, времени суток, оптической плотности среды, помех, возникающих от посторонних источников излучения [8]. Также существует проблема, связанная с возможными дефектами в оптическом датчике, которые приводят к рассеянию света в объективе и, соответственно, к рассеянию света, поступающего на фотодиоды. Рассеяние света в оптическом датчике может значительно снизить контраст между изображением фона и изображением лопасти [3].

Также следует учитывать тот факт, что лопасти НВВ часто окрашены в темный или черный цвет с антибликовым покрытием для уменьшения вероятности обнаружения вертолётов в боевых условиях, что в свою очередь дополнительно снижает уровень светового потока, отраженного от лопасти [5].

При разработке ОЭС следует учитывать, что яркость фона (дневного неба) может быть довольно низкой, особенно на больших высотах, где небо гораздо темнее, чем на уровне земли. При таких обстоятельствах контраст между фоном и передним планом изображения лопасти будет относительно низким. Кроме того, при определенных обстоятельствах, уровень отраженного света, падающего на оптические датчики от солнечного излучения, может равняться или даже превышать уровень освещенности фона [9].

Способы и устройства для определения деформации лопастей НВВ на основе лазерных модулей

Для увеличения точности измерения деформационного состояния лопастей, было предложено использовать лазерные системы [10]. В качестве примера такой системы можно привести полезную модель «Система измерения сближения лопастей соосного вертолета» [10], которая используется для измерения сближения концов лопастей в полете вертолёта соосной схемы. Принцип работы системы измерения сближения соосных лопастей вертолёта основывается на приеме лазерного излучения от источников излучения, которые в свою очередь встроены в законцовки верхних и нижних лопастей HBB.

Сигнал принимается оптическим датчиком, который расположен на неподвижной части корпуса вертолёта. Принятый сигнал обрабатывается бортовым компьютером и выводит информацию о деформационном состоянии лопастей на монитор. На рис. 2.1 представлена функциональная схема данного устройства.

Также известен способ [11], использующий лазерный модуль для измерения деформаций и характеристик движения лопастей. Принципиальной основой метода является сравнение перемещения любой исследуемой точки (в нашем случае точки поверхности лопасти) с длиной волны, используемого в приборе лазера. Агрегаты системы смонтированы на подвижной опоре прибора и могут синфазно вращаться относительно его оптической оси.



Рис. 2.1. Функциональная схема системы измерения сближения лопастей

На рис. 2.2 приведена фотография лопасти шарнирного винта, показывающая распределение освещенности на верхней поверхности лопасти винта при азимутальном угле 270° на режиме висения.



Рис. 2.2. Фотография распределения освещенности на лопасти

Методика расшифровки полученной информации заключается в следующем. На лопасти до эксперимента наносятся с определенным шагом реперные линии. Определяется число максимумов освещенности между реперными линиями и превышение одного сечения над другим в плоскости взмаха. На основе полученной информации строится упругая линия модели и подсчитываются деформационные параметры лопасти.

В зарубежной практике также применяются лазерные системы для определения положения лопастей и их деформационных характеристик. Например, в статье «Helicopter blade tracking by laser light» [12] описывается метод определения положения лопастей, основанный на применении лазерной системы. Метод базируется на регистрации отраженного лазерного излучения от законцовки лопасти. Отраженное лазерное излучение регистрируются телевизионной камерой и после соответствующей цифровой обработки отображаются на экране монитора. Реализация данного способа представлена на рис. 2.3. Узкий пучок монохроматического лазерного излучения направлен на нижнюю сторону лопастей НВВ. Вращающиеся лопасти периодически пересекают лазерный луч, и часть излучения диффузно отражаясь, фиксируется телекамерой. Выходной видеосигнал телекамеры подается в процессор, который определяет вертикальные отклонения законцовок лопастей и отображает результат на экране монитора (рис. 2.3). Процессор отображает вертикальные позиции законцовок на дисплее в виде ярких прямоугольников в соответствии с номерами лопастей (рис. 2.3). Вертикальные положения законцовок лопастей отображаются в виде прямоугольников на экране монитора.



Рис. 2.3. Практическая реализация лазерной системы определения положения лопастей и результаты измерений на экране монитора

Порог чувствительности предложенной системы зависит от яркости фона. Согласно экспериментам, описанным в [12], для стабильной работы устройства необходимо соотношение сигнал/фон не меньше 4/1.

Таким образом, представленные известные лазерные системы и устройства, так же как и оптоэлектронные, зависят от фонового излучения (солнечное излечение). Аналогично ОЭС лазерные способы являются бесконтактными, что позволяет исключать нарушение балансировки и конструктивных изменений HBB.

Способы, использующие лазерное излучение, таким же образом как и ОЭС, зависят от погодных условий, времени суток, оптической плотности среды, помех, возникающих от посторонних источников излучения, от яркости фона и дефектов объективов [12].

На основе рассмотренных систем можно сделать вывод, что преимуществами лазерных систем являются: более высокая точность, отсутствие необходимости препарирования лопасти.

3. МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ЛОПАСТЕЙ НВВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ ВСТРОЕННЫХ В ЛОПАСТИ

Широкое распространение нашли оптоволоконные системы, использующие оптические сенсоры, установленные непосредственно на HBB. Примером такой системы может служить способ, описанный в статье «Wireless Fiber Optic Sensor System for Strain and Pressure Measurements on a Rotor Blade» [13]. Данная система при помощи оптоволоконных датчиков, встроенных в конструктив лопасти, фиксирует деформацию лопасти, а также давление на лопасть. Информация о параметрах движения лопастей передается через беспроводной канал передачи данных для последующей обработки на ПЭВМ. На рис. 3.1 показана схема данного устройства.



Рис. 3.1. Схема оптоволоконной системы измерения деформации и давления на лопасть HBB

Особенностью данной системы является то, что принцип её работы основан на низкокогерентной и фазосдвигающей интерферометрии. Эта схема позволяет проводить пространственное мультиплексирование, которое состоит из нескольких датчиков деформации и давления на основе резонатора Фабри-Перо.

Используемый метод обеспечивает высокое отношение сигнал/шум и большой динамический диапазон, также обладает большой пропускной способностью, и имеет простую схему фазовой демодуляции [13]. На рис. 3.2, показана практическая реализация данного способа.



Рис. 3.2. Практическая реализация имитатора с установленными на него датчиками

Беспроводная система позволяется отказаться от токосъемников и проводов и, следовательно, позволяет увеличить надёжность системы и уменьшить шумы.

Необходимо также рассмотреть способ, приведенный в статье «An optoelectronic system for the in-flight measurement of helicopter rotor blades motions and strains» [14]. Рассматриваемая оптоэлектронная система, предназначена для измерения параметров движения и деформации лопастей НВВ для научных исследований. Система измерения основана на чувствительных детекторах, которые принимают излучение от светодиодов, расположенных на лопастях, а также измеряется деформация оптоволоконных брэгговских решеток, которые также расположены непосредственно на лопасти (рис. 3.3).

Как показано на рис. 3.3, разработанная система установлена на верхней части втулки ротора и вращается вместе с ним. Деформация, угловое расстояние и угол установки лопасти измеряются чувствительным детектором, реагирующим на изменения в положении двух светодиодов, расположенных на поверхности лопасти. Положение светодиодов дает информацию о скручивании лопасти, а сравнение координат светодиодов соседних лопастей дает информация об угловом расстоянии между соседними лопастями. С помощью оптоволоконных брэгговских решеток (ОБР) также фиксируется интенсивность светового сигнала для измерения деформации лопасти.



Рис. 3.3. Оптоволоконная система для измерения деформационных параметров лопасти

Недостатками вышеуказанных методов является высокая трудоемкость установки данной системы, сложность снятия сигнала, а также низкая надежность системы. Однако высокая точность подобных систем позволяет использовать их в лабораторных исследованиях.

В отечественной практике [15] также нашли применение ОЭС на базе волоконно-оптических тензодатчиков (ВОТ) и волоконно-оптических виброакустических (ВОВ) датчиков, построенных на основе брэгговской решетки. Данная система контроля технического состояния конструкций летательного аппарата, предусматривает установку датчиков технического состояния конструкций непосредственно внутрь композиционного материала лонжеронов всех лопастей винта вертолета. Датчики ВОТ сигнализируют о разрушении материала лонжеронов, а датчики ВОВ предназначены для определения момента ударного воздействия и мест расположения ударного воздействия на лонжероне лопасти винта.

Выполнение системы со встроенными ВОТ и ВОВ датчиками в конструкцию лопастей винта из композиционных материалов позволяет контролировать прочностные параметры лопасти на этапе ее изготовления и эксплуатации вертолета.

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ

Использование ОЭС для контроля деформационного состояния нагруженных элементов, в частности лопастей НВВ, находят все большее применение. Все выше рассмотренные оптоэлектронные системы, вне зависимости от конструкции фиксируют изменение оптического сигнала под действием внешних сил. Их можно разделить на три большие группы: по способу взаимодействия с объектом исследования, по месту расположения датчиков и по типу источника излучения.

Рассмотренные ОЭС по способу взаимодействия с объектом контроля можно разделить на две подгруппы. Первая подгруппа - дистанционные, которые предполагают бесконтактный контроль деформационных параметров лопастей вертолёта за счет приема отраженного оптического сигнала. Дистанционные оптические системы могут иметь в своем составе три различных типа датчиков: лазерные, фотографические и видео датчики. Оптические системы контактного типа основываются на оптоволоконных системах, в которых под действием деформации исследуемого объекта соответственно изменяется оптический сигнал в оптоволоконных линиях, которые в свою очередь могут быть расположены как на поверхности, так и внутри конструкции лопасти [1-15].

По месту расположения датчиков контроля ОЭС делятся на две подгруппы: с непосредственным расположением датчиков или частей системы контроля на поверхности исследуемого объекта и дистанционно удаленными системами, которые полностью расположены отдельно от исследуемого объекта.

По типу источника излучения ОЭС можно сгруппировать в три подгруппы: системы, принцип действия которых основан на искусственном источнике излучения, системы которые работают только с естественным излучением, а также комбинированные системы.

Классификация принципов построения оптоэлектронных систем представлена на рис. 4.1.



Рис. 4.1. Классификация оптоэлектронных систем

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании анализа рассмотренных в данной работе устройств и технических решений [1-15], было установлено следующее:

Все рассмотренные ОЭС, работающие на принципе дистанционного контроля подвержены сильному влиянию метеорологических условий. При недостаточной освещенности контраст между лопастью и участком фона становится предельно малым и система не может отличить контролируемый объект от фона.

Для контактных ОЭС, эксплуатация которых предполагает установку датчиков и других частей системы непосредственно на контролируемый объект, существует проблемы надежности данной системы и сложности передачи информации о деформационном состоянии на программно вычислительный комплекс для дальнейшей обработки. Также на некоторых моделях вертолётов существует сложность подключения контактных датчиков к системе электропитания, что приводит к необходимости использования токосъемников или автономной системы электропитания, которая существенно ограничивает потенциал такой ОЭС.

Рассмотренные ОЭС при всех их недостатках, имеют удовлетворительную точность для измерения динамических деформационных параметров лопастей, что совместно с доступностью реализации технологических операций изготовления позволяет их использовать при лабораторных и заводских испытаниях HBB.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кузнецов А.М. Устройство для измерения координат лопастей вращающегося несущего винта вертолета: Пат. 2180122 (РФ). 2002.
- Борисов Ю.А., Левко Г.В., Муравьев А.Ю. Способ измерения несоконусности лопастей несущего винта вертолета и устройство для его осуществления: Пат. 2415053 (РФ). 2009.
- 3. *Maxwell R.H.* Optical tracker system for determining the position of a rotating body: Patent US 5929431A. 1999.
- 4. Simpkins W., Wilson J., Dorris D. Systems and Methods of Tracking Rotor Blades: Patent US 20140064966A1.2014.
- 5. *Christopher I.M.* Position detector: Patent EP 0112031B1. 1987.
- 6. *Christopher I.M.* Helicopter blade position detector: Patent US 8190393B2. 2012.
- Видеограмметрический метод бесконтактных измерений мгновенной деформации лопастей вращающихся воздушных винтов / С. И. Иншаков, В. П. Кулеш, В. Е. Мошаров, В. Н. Радченко // Ученые записки ЦАГИ. 2013. Т. XLIV №4. С. 72-79.
- 8. *Milberger L., Moore W., Swift G.* Method and apparatus for testing bladed rotors: Patent US 3856410A. 1974.
- 9. *Maxwell R.H., Cheeseman I.C.* Apparatus and method for tracking a rotating blade to determine parameters associated with the rotation of that blade: Patent US 5249470A. 1993.
- Якеменко Г.В., Селеменев С.В., Михеев С. В., Карцев Ю.А. Система измерения сближения лопастей соосного вертолета: Пат. 57241 (РФ). 2006.
- Экспериментальные исследования по аэродинамике вертолета / В.Ф. Антропов, Г.Б. Бураков, А.С. Дьяченко и др.; [под. ред. А.К. Мартынова]. М.: Машиностроение, 1980. С. 105-108.

- Nagy P.B., Greguss P. Helicopter blade tracking by laser light / Optics and laser technology. 1982. December. P. 299-302.
- 13. Wireless fiber optic sensor system for strain and pressure measurements on a rotor blade / Y. Liu, A. Lacher, G. Wang, A. Purekar, M. Yua // Fiber Optic Sensors and Applications V. 2007.P. 145-156.
- 14. An optoelectronic system for the in-flight measurement

of helicopter rotor blades motions and strains / *H. Youwei, C. Weizhen, L. Yan, L. Wanxin* // Optical Metrology and Inspection for Industrial Applications II. 2012.P. 314-320.

 Львов Н.Л., Хабаров С.С., Носов А.А., Сиваков Д.В. Система контроля технического состояния конструкций летательного аппарата (варианты): Пат. 2544028 (РФ). 2015.

OPTOELECTRONIC SYSTEMS FOR DETECTION THE DEFORMATION STATE OF THE ROTOR BLADES OF THE HELICOPTER

© 2016 A.I. Danilin, S.V. Zhukov

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

The paper deals with optoelectronic systems of monitoring the deformation state of the rotor blades of the helicopter. Described optoelectronic systems use fiber optic, optoelectronic and laser transducers for solving the original problem. In the course of analysis optoelectronic systems were divided into three main groups, such as systems based on detection reflected light flux, systems based on laser module and systems with optical sensor embedded into blades. All systems are categorized by operation philosopy and sensors types. As a part of study, their special characteristics, strengths and shortcomings have been specified. *Keywords*: helicopter, rotor, blade, blade tip, out-of-track condition, laser, optical sensor, solar radiation, flapping, twisting rotation, light sensor.

Alexander Danilin, Doctor of Technics, Professor, Head at the Radio-Engineering Department. E-mail: aidan@ssau.ru Semyon Zhukov, Postgraduate Student. E-mail: zhukovsv91@inbox.ru