

УДК 62-192, 681.2.083

Реализация оптической системы для контроля состояния элементов трансмиссии

Позднякова Екатерина Дмитриевна

pozdneyakova@bmstu.ru

SPIN-код: 5234-3321

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены основные критические элементы конструкции вертолета и возможность их диагностики и мониторинга. Приведен анализ существующих систем и оценена возможность повышения точности и достоверности получаемых результатов измерений с их использованием. Предложена реализация оптоэлектронной системы для фазохронометрического метода диагностики и рассмотрены основные требования, предъявляемые к компонентам данной системы.

Ключевые слова: жизненный цикл, измерительная технология, контроль, измерение, фазохронометрический метод, вертолет, трансмиссия

Implementation of an optical system for monitoring the condition of transmission elements

Pozdneyakova Ekaterina Dmitrievna

pozdneyakova@bmstu.ru

SPIN-code: 5234-3321

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The main critical elements of the helicopter design and the possibility of their diagnosis and monitoring are considered. The analysis of existing systems is given and the possibility of increasing the accuracy and reliability of the obtained measurement results using them is evaluated. The implementation of an optoelectronic system for the phase chronometric diagnostic method is proposed and the basic requirements for the components of this system are considered.

Keywords: life cycle, measuring technology, control, measurement, phasochronometric method, helicopter, transmission

Введение. Современные вертолеты эксплуатируются в широком диапазоне условий окружающей среды и режима полета, подвергаясь интенсивному воздействию сил и моментов, возникающих вследствие взаимодействия лопастей винтов с воздушным потоком, что создает повышенные требования к прочности и износостойкости механических элементов конструкции. Одной из важнейших составляющих любого вертолетного аппарата является трансмиссия, передающая мощность от двигателей к несущим и рулевым винтам. Именно трансмиссия подвергается значительным механическим нагрузкам, вибрациям и тепловым воздействиям, влияющим на работоспособность всех смежных узлов и агрегатов воздушного судна. Создание специальных систем

диагностики и контроля трансмиссии представляется важной научной задачей, способствующей повышению уровня безопасности и экономичности эксплуатации вертолетов. Основными проблемами являются:

- высокие механические напряжения и усталость материалов;
- повышенные уровни вибраций и шумовых воздействий;
- образование дефектов, приводящих к постепенному разрушению элементов трансмиссии;
- потери механической энергии вследствие износа трущихся поверхностей.

Для эффективного решения указанных проблем необходима разработка автоматизированных систем мониторинга технического состояния трансмиссии, основанных на принципах непрерывного сбора и обработки информации о работе агрегата.

Материалы и методы. В настоящее время существует целый ряд систем контроля, диагностики и мониторинга состояния элементов конструкций летательных аппаратов, построенных на различных физических принципах. При этом данные системы имеют различный уровень точности, стабильности и помехозащищенности [1]. Согласно анализу иностранных источников [2] для диагностики в системах HUMS (Health and Usage Monitoring System) выбраны такие критические элементы конструкции вертолета, как редуктора, трансмиссия, двигатель, лопасти. Основой данных систем является информация с датчиков, установленных в наиболее критических точках конструкции, об уровнях изменения рабочих характеристик оборудования, включая температуру, уровень шума, степень вибрации и/или показатели качества смазочных материалов. Последующая обработка полученных данных позволяет оперативно выявлять признаки зарождающихся повреждений и предотвращать серьезные аварии.

В вопросах повышения точности и достоверности получаемых результатов измерений, достигаемых существующими системами диагностики, существенным фактором, как правило, выступает математический инструментарий, применяемый для формирования и последующего анализа измерительной информации. Но известный из [3–5] фазохронометрический (ФХМ) подход, за счет привязки к механической фазе цикла, позволяет получать именно результаты измерений, обладающие высоким метрологическим уровнем за счет привязки к эталону времени и частоты, и высокой помехозащищенности.

Результаты. Для формирования фазы для ФХМ системы может быть использован оптоэлектронный первичный преобразователь, в составе которого будет источник и приемник света, а также оптический геометрически точный диск с прорезями. Данные о фазовом положении будут получены посредством жесткого сопряжения диска с прорезями и элементов конструкции трансмиссии. Количество прорезей определяется исходя из опорной частоты вращения и ширины необходимого спектра частот по теореме Котельникова [6]:

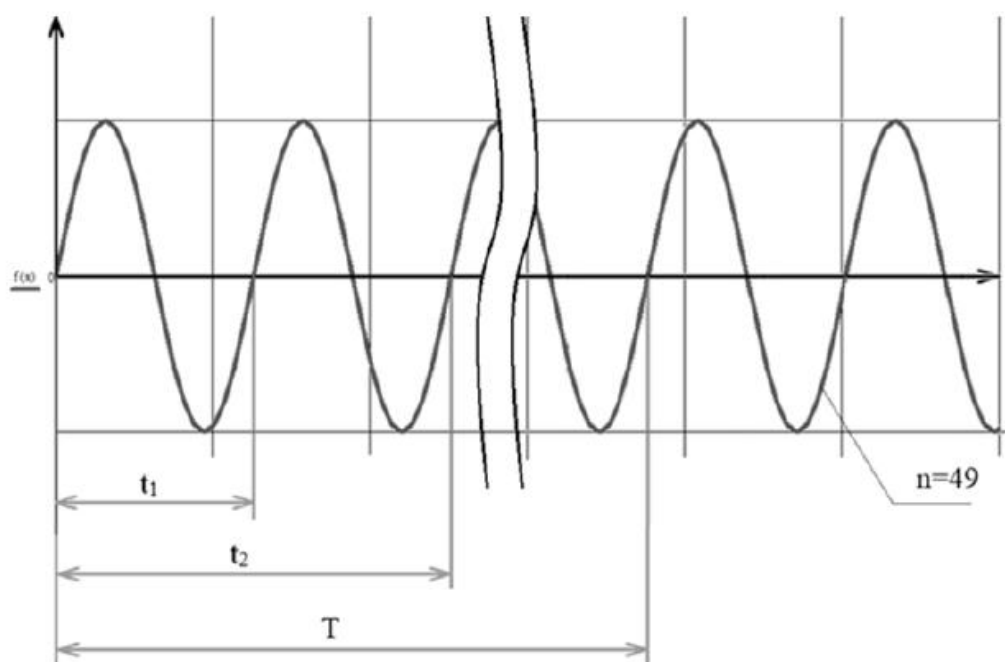
$$\Delta t = \frac{1}{2n\vartheta} ,$$

где ϑ — частота, ограничивающая спектр, Гц; Δt — интервал времени, с которым следуют отсчетные значения, с; n — количество фаз.

ФХМ позволяет достичь абсолютной погрешности $\sim 10^{-7} - 10^{-8}$ с, что накладывает ограничения при выборе фотодиода для реализации оптоэлектронной системы по величине времени нарастания фронта. Таким образом, данный параметр должен находиться на уровне нескольких наносекунд. Для формирования стабильного фронта фазы необходимо учитывать величину чувствительности фотоприемника, которая отражает изменение его состояния при подаче на вход единичного оптического сигнала. Выбираемый для реализации оптоэлектронного первичного преобразователя фотодиод должен иметь наибольшую чувствительность на длине волны излучения светодиода.

Фотоприемник всегда генерирует случайный сигнал с неопределенной интенсивностью и частотным диапазоном, известный как собственный шум приемника. Этот шум обусловлен внутренними процессами устройства и внешними воздействиями. Присутствие такого шума затрудняет фиксацию минимальных изменений поступающего светового потока, поскольку они маскируются фоновым шумом.

Подход к измерению периода вращения и его кратных долей с использованием оптоэлектронной системы приведен на рисунке.



Измерение периода и его кратных долей с помощью оптоэлектронной системы

Результатами измерения являются приращения интервалов времени, соответствующие фазам рабочего цикла механизма.

Обсуждение. В ходе выполнения работы была исследована возможность реализации оптоэлектронной системы для контроля состояния элементов трансмиссии. Использование оптической системы подразумевает использо-

вание светового излучения в инфракрасной области от источника к приемнику. Реализация привязки к фазам рабочего цикла осуществляется за счет применения специального информационного элемента, обеспечивающего связь между параметрами вращения и выходной характеристикой измерительного прибора. Световой поток, проходя через диск с прецизионными пазами, превращается в измерительный импульс. Точность фазохронометрической системы, помимо метрологической прослеживаемости к эталону времени и частоты, обеспечивается за счет применения оптоволоконных линий связи, минимизирующих искажение полученной измерительной информации. Расчетное значение суммарных потерь в оптоволоконном кабеле составило 1,19 дБ/км. Помимо этого, расчет интервалов между двумя соседними импульсами зависит от частоты генератора, что позволяет повышать точность проводимых измерений. Дальнейшее математическое моделирование процесса функционирования объекта и сравнение полученных экспериментальных данных с данными моделирования позволяет переходить к оценке состояния циклического механизма.

Заключение. Разработанная и реализованная с учетом приведенного анализа оптоэлектронная система позволяет получить качественно новую информацию о работе циклического механизма, которая может быть использована для исследования функционирования трансмиссии на этапе стендовых испытаний.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по государственному заданию FSN-2025-0009.

Список источников

- [1] Позднякова Е.Д. Разработка измерительной фазохронометрической технологии сопровождения жизненного цикла трансмиссии летательного аппарата. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2024, 150 с.
- [2] Federal Aviation Authority, AC 29 MG15. Airworthiness Approval of Rotorcraft Health Usage Monitoring Systems (HUMS). International Helicopter Safety Team, 2015, 50 p.
- [3] Киселев М.И. и др. Мониторинг технических и природных объектов: инженерное и метрологическое обеспечение. Мир измерений, 2014, № 8, с. 49–56.
- [4] Киселев М.И., Пронякин В.И., Чивилев Я.В. Фазохронометрическая система как инструмент исследования циклических машин и механизмов. Мир измерений, 2007, № 4, с. 11–12.
- [5] Киселев М.И. и др. Многофакторное информационно-метрологическое сопровождение эксплуатации гидроагрегатов на базе фазохронометрического метода. Гидротехническое строительство, 2015, № 4, с. 2–8.
- [6] Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналогово-цифровых электронных устройств. Москва, ДМК Пресс, 2018, 636 с.