

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук Михайлова Б.Б. на диссертацию Прохорова Павла Дмитриевича «Разработка двухканальной системы измерения положения лопастей вертолета», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям «05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации» и «05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

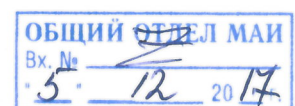
Актуальность темы исследования. Работа Прохорова П.Д. посвящена измерению в реальном времени положения лопастей несущего винта вертолета непосредственно в процессе испытаний. В результате удается определить вероятность сближения лопастей (вплоть до их столкновения и разрушения) при различных режимах управления работой винта. Поэтому представленная к защите диссертация, посвященная разработке аппаратных и программных средств такой системы измерений, безусловно, является актуальной.

Полнота и качество изложения материала. Представленная диссертация изложена на 133 страницах и состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы.

Во введении обоснована актуальность диссертационного исследования, приведен обзор существующих систем, которые можно использовать для измерения параметров лопастей вертолѐта, определен объект исследования, сформулированы цель и основные положения диссертации.

В первой главе рассмотрены основные проблемы, возникающие при использовании различных бесконтактных методов измерения положения лопасти на работающем винте. Прежде всего – это высокая точность измерения при большой скорости движения лопасти (до 600 оборотов в минуту). На основе проведенного анализа автор предложил использовать два способа измерения разной модальности: тензометрический и оптический.

Тензометрическая система предназначена для непрерывного измерения общей продольной деформации лопасти. Она состоит из четырёх тензодатчиков, распределённых по длине лопасти, и автономной тензостанции, установленной на винте вертолѐта. Передача данных измерения осуществляется по радио каналу.



Оптическая система предназначена для измерения положения торца лопасти во время вращения винта. В ней используется высокоскоростная телевизионная телекамера, которая закреплена на корпусе вертолёта так, чтобы в её поле зрения периодически попадал торец лопасти.

Таким образом, тензометрический канал служит для непрерывного измерения деформации лопасти в процессе вращения, а оптический - для калибровки и преобразования полученных данных в систему координат вертолёта. Расположение оборудования на штатном электровинтовом стенде АО «Камов» показано на общей схеме предлагаемой системы измерений.

В этом разделе также приведены математические выражения для вычисления положения торца лопасти по данным тензометрической системы и их преобразования в систему координат вертолёта. В конце главы на основе предложенных решений конкретизированы задачи диссертации.

Вторая глава диссертации посвящена разработке тензометрического канала измерений. Проанализирована имеющаяся элементная база и способы получения данных автор обоснованно применил фольговые тензорезисторы и использовал мостовую схему их включения. Результаты измерений, полученные при различных скоростях вращения винта, показали хорошую точность, при которой средняя квадратичная ошибка не превышала 0,5% от величины математического ожидания. Это позволило однозначно определять положение лопасти в разных режимах работы несущего винта вертолёта: от неподвижного состояния до максимальных оборотов.

В третьей главе рассматриваются вопросы разработки оптического канала измерений на основе высокоскоростной видеокамеры. Проведено исследование признаков, характеризующих положение конца движущейся лопасти (объекта интереса), и предложен способ улучшения условий наблюдения. В данном случае, автор предложил повысить контраст изображения «лопасть-фон» путём использования дополнительной подсветки и специального экрана, что существенно уменьшило дисперсию фона изображения.

Кроме того, автор предложил нанести на одну из лопастей винта вертолёта контрастную метку для идентификации лопасти, оснащенной тензометрическими датчиками. Это позволило исключить внешнюю синхронизацию работы телекамеры, которая обычно используется при анализе изображений высоко динамичных объектов.

В четвертой главе диссертационной работы рассмотрена программно-аппаратная реализация предложенной системы измерения положения лопасти на работающем винте вертолета. Для оптической системы подобрана цифровая высокоскоростная видеокамера, определены углы поля зрения по

горизонтали и вертикали, выбран объектив. Для тензометрической системы подобраны датчики, автономная станция и блоки радиоканала для связи с центральным процессором. Разработан пакет программ для реализации предложенных алгоритмов обработки.

В пятой главе диссертации приведен анализ результатов использования разработанной системы измерений на штатном электровинтовом стенде АО «Камов». Показана эффективность комплексирования двух измерительных каналов и возможность измерения координат конца лопасти при различных режимах работы винта со средним квадратичным отклонением не более 2 мм, что значительно превышает требования, предъявляемые к подобным системам измерения.

В заключении сформулированы краткие результаты и выводы по проделанной работе.

Диссертация написана на хорошем уровне, прослеживается логика повествования, обоснованы основные теоретические положения, корректно сформулированы выводы по главам, текст работы подкреплен схемами и иллюстрациями. Соискатель продемонстрировал грамотный выбор элементной базы для реализации измерительного комплекса на штатном электровинтовом стенде АО «Камов» и провел достаточное количество экспериментов, подтвердивших работоспособность предложенных алгоритмов и использованных технических решений.

Предложенный подход к измерению положения лопасти вертолѐта с помощью комплексирования данных двух систем разной модальности в тексте диссертационной работы логически **обоснован**. **Достоверность** полученных научно-практических результатов не вызывает сомнений, поскольку они подтверждены путѐм экспериментальных исследований, проведенных на реальном испытательном стенде.

Научная новизна работы, в основном, определяется предложенным способом определения координат объекта (торца лопасти вертолѐта) с использованием измерительных систем различной модальности.

Существенной новизной обладает также разработанный соискателем подход к решению задачи комплексирования результатов измерения разных двух систем.

Важным научным результатом следует также считать выполненный автором анализ измерений, полученных на реальном испытательном стенде. Он позволил оценить результаты реальных экспериментов и сравнить их с данными проведенного ранее моделирования.

Практическая значимость диссертационной работы не вызывает сомнений поскольку посвящена решению актуальной научно-практической задачи – разработке двухканальной системы измерений положения лопастей несущего винта на этапе его проектирования, что в конечном итоге позволяет реализовать безопасное управление вертолѐтом.

В качестве замечаний по диссертации следует отметить следующее:

1. Лопаста вертолѐтов имеют сложный профиль и разные размеры. Из текста диссертации не очевиден выбор количества тензометрических датчиков, устанавливаемых на одну конкретную лопасть.

2. Из приведенных рисунков следует, что торец лопасти занимает значительную часть изображения. Из текста работы не ясно: координаты какой точки торца определяет оптическая система измерений.

3. В тексте диссертации был замечен ряд опечаток и неточностей; имеются повторы и отдельные стилистические погрешности.

По существу, сделанные замечания не являются принципиальными и не уменьшают значимости проведенного соискателем исследования.

Диссертация соответствует паспортам специальностей «05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)» «05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

По результатам диссертации автором опубликовано 12 научных работ, из них три - в изданиях, входящих в перечень рекомендуемых ВАК РФ. Опубликованные работы раскрывают сущность и теоретические положения исследуемых вопросов. Автореферат диссертации отражает ее структуру и основное содержание.

Вывод. Диссертация Прохорова П.Д. «Разработка двухканальной системы измерения положения лопастей вертолѐта» является научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям Минобрнауки РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, установленными «Положением о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, Прохоров Павел Дмитриевич, заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальностям «05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации» и «05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент – к.т.н., доцент кафедры «Робототехнические системы и мехатроника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский

Государственный Технический Университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»

01 декабря 2017 г.



Б.Б. Михайлов

Адрес места работы: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

Телефон: 8-903-262-13-04

E-mail: borismboris@yandex.ru.

Личную подпись кандидата технических наук, доцента Михайлова Б.Б.
заверяю



А. Г. МАТВЕЕВ
Зам. нач. УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ

ТЕЛ. 8499-263 67-69

05.12.2017 *И.И.И.*