

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

Кронштадтский б-р, 20, ГСП-3, г. Москва, 125993  
Тел. 8 (499) 459-07-07, 459-07-01 Факс 8 (499) 457-12-01  
E-mail: info@mstuca.aero  
<http://www.mstuca.ru>

15.11.2017 № 16.1/1608

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

В диссертационный совет  
Д 212.125.12 при ФГБОУ ВО  
Московского авиационного  
института (национального  
исследовательского  
университета),  
секретарю совета,  
к.т.н., Старкову А.В.

125993, г. Москва, А-80, ГСП-3,  
г. Москва, Волоколамское  
шоссе, д. 4

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор  
ФГБОУ ВО «Московский  
государственный технический  
университет гражданской авиации»  
по научной работе и инновациям,  
доктор технических наук, профессор

Воробьев В.В.

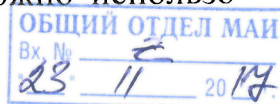
2017 г.

**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

на диссертационную работу Прохорова Павла Дмитриевича на тему «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», 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

**Актуальность темы.**

Диссертационная работа Прохорова П.Д. посвящена разработке системы измерения положения лопастей несущего винта вертолета в связанной системе координат вертолета. Из практики эксплуатации вертолетов известно немало случаев, когда происходило столкновение лопастей несущего винта с корпусом вертолета или друг с другом в случае соосной схемы. Это возможно при выполнении резких, недостаточно скоординированных маневров, при сильных порывах ветра и в других случаях. В связи с этим важно знать положение лопастей в связанной системе координат вертолета на различных режимах полета. Эту информацию, полученную на экспериментальных установках, можно использо-



вать, например, на этапах создания вертолета для уточнения его компоновки с целью обеспечения необходимых зазоров между лопастями соосных винтов или между лопастями и корпусом вертолета, что позволит повысить безопасность полетов. В связи с этим тема диссертационной работы Прохорова П.Д. представляется весьма актуальной.

### **Структура и основные положения работы.**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы.

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулирована цель работы, дана ее краткая характеристика.

В главе 1 определены требования к системе измерения положения лопастей вертолета. Проведенный в работе анализ показывает, что данные требования могут быть удовлетворены двухканальной системой, включающей оптический и тензометрический каналы измерений. Автором определена структура данной системы. Предложена методика комплексирования оптических и тензометрических измерений, разработана математическая модель пересчета тензометрических измерений, описана процедура расчета коэффициентов данной математической модели.

В главе 2 рассматривается тензометрический метод измерения положения лопастей вертолета. Автором описана программно-аппаратная структура тензометрического канала. Предложен способ передачи измерений от тензометрической станции, которая располагается на подвижной втулке винта, к вычислительной станции с помощью радиоканала. Предложена математическая модель пересчета тензометрических измерений деформаций в линейные отклонения лопасти. Произведен выбор типа используемых тензодатчиков. Проведены эксперименты по подтверждению работоспособности предложенного метода измерений.

Глава 3 посвящена разработке оптического канала измерений положения лопасти вертолета. Рассмотрены варианты с использованием двух и четырех высокоскоростных камер для увеличения суммарного поля зрения и количества измерений по сравнению с одной камерой. В работе предложен комплексный алгоритм обработки изображений для измерений положения торца лопасти в связанной системе координат вертолета. Также были предложены методы улучшения условий наблюдения, включающие решение частных задач по выравниванию текстуры фона и повышению контрастности лопасти и фона.

В главе 4 рассматривается структура программно-аппаратного комплекса, на базе которого проводятся измерения. Автором были определены аппаратные составляющие, позволяющие производить измерения, учитывая поставленные требования. Описана модульная структура программного комплекса и макет предлагаемой двухканальной системы.

В главе 5 представлены результаты экспериментальных исследований разработанного программно-аппаратного комплекса. Были проведены эксперименты по оценке адекватности предложенной математической модели пересчета тензометрических данных в систему координат камеры. Результаты исследований подтверждают работоспособность предложенной двухканальной системы измерений.

В Заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

В списке источников представлены библиографические материалы, использованные при работе над диссертацией.

Текст диссертации написан последовательно, изложен литературно-техническим языком с небольшим количеством ошибок и опечаток, оформлен в соответствии с требованиями к диссертациям.

#### **Научная новизна.**

Полученные автором настоящей работы результаты отличаются научной новизной, которая в основном заключается в следующем:

1) научно обоснована архитектура двухканальной системы измерения положения и траектории движения лопасти вертолета, включающей в себя подсистемы тензометрических и оптических измерений;

2) разработана математическая модель пересчета тензометрических измерений в координаты торца лопасти относительно связанной системы координат вертолета;

3) разработана методика комплексирования оптических и тензометрических измерений.

#### **Степень достоверности результатов работы.**

Достоверность результатов, полученных в данной работе, подтверждается сравнением результатов экспериментов, обработанных по предлагаемой методике комплексирования, с результатами оптических измерений, взятых в качестве эталонных. Адекватность полученных результатов можно оценить как хорошую.

#### **Практическая значимость работы.**

Разработанная автором двухканальная система измерений положения лопастей несущего винта вертолета позволяет проводить исследования поведения лопастей на различных режимах работы несущего винта, что дает возможность оценить зазоры между лопастями соосных винтов, а также между лопастями и корпусом вертолета. Данную систему можно использовать, например, при определении границ безопасных режимов полета.

#### **Замечания по диссертации.**

1. Из текста диссертации неясно, как конкретно предполагается обеспечить повышение безопасности функционирования вертолетов, используя бортовую систему измерений положения лопастей несущего винта.

2. В работе не указан критерий выбора оптического и тензометрического методов измерений.

3. Разработанный метод пригоден только для бесшарнирных несущих винтов, что несколько снижает его практическую значимость.

4. Применяемый оптический метод может оказаться неработоспособным в условиях реальной освещенности, реального фона и вибраций видеокамер в случае бортовой системы измерений.

Следует отметить, что данные замечания не носят решающего характера и не снижают ценности работы.



### Заключение по диссертации.

Диссертационная работа Прохорова П.Д. является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена научная задача, имеющая существенное значение. Она обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты, достоверность которых не вызывает сомнений. Основные ее положения опубликованы в рецензируемых научных изданиях и доложены на научных конференциях. Данная работа имеет неоспоримую научную новизну, достаточную практическую значимость и отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК при Министерстве образования и науки РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Прохоров Павел Дмитриевич, заслуживает присуждения ему 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».


Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры «Аэродинамика, конструкция и прочность летательных аппаратов» 24.10.2017, протокол № 3.

Отзыв составили:


Заведующий кафедрой «Аэродинамика, конструкция и прочность летательных аппаратов» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации»,  
125993, г. Москва, Кронштадтский бульвар, 20, каб. 206А,  
тел.: 8 (499) 495-07-91, e-mail: akpla@yandex.ru  
доктор технических наук, профессор

  
(подпись) Ципенко Владимир Григорьевич  
(Ф.И.О. полностью)  
«24» 10 2017 г.

Профессор кафедры «Аэродинамика, конструкция и прочность летательных аппаратов» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации»,  
125993, г. Москва, Кронштадтский бульвар, 20, каб. 105А,  
тел.: 8 (499) 495-07-37, e-mail: akpla@yandex.ru  
доктор технических наук, доцент

  
(подпись) Ефимов Вадим Викторович  
(Ф.И.О. полностью)  
«24» 10 2017 г.

ученый секретарь кафедры «Аэродинамика, конструкция и прочность летательных аппаратов»

  
(подпись) Ефимова Марина Григорьевна  
(Ф.И.О. полностью)  
«24» 10 2017 г.

24.11.2017

