

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»  
(ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»)

Вадковский пер., д. 1, Москва, ГСП-4, 127994. Тел.: (499) 973-30-76. Факс: (499) 973-38-85  
E-mail: [rector@stankin.ru](mailto:rector@stankin.ru)

04.12.2017 № 1994-1/17

В учёный совет ФГБОУ ВО  
«Московского авиационного  
института (НИУ)», секретарю  
диссертационного совета  
Д 212.125.12, к.т.н., А.В. Старкову  
125993, г. Москва, А-80, ГСП-3,  
Волоколамское шоссе, д. 4

Уважаемый Александр Владимирович!

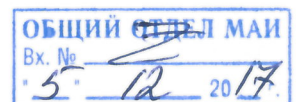
Направляю Вам отзыв официального оппонента Андреева Виктора Павловича д.т.н., профессора ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН» на диссертационную работу Прохорова Павла Дмитриевича на тему «Разработка двухканальной системы измерения положения лопастей вертолета» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)», 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Приложение:

1. Отзыв на диссертацию на 7 стр. в 2-х экз., экз. №1, №2 – в адрес.

С уважением,  
проректор по научной работе и  
научно-технической политике  
ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», к.т.н.

/ Зеленский А.А. /



Исп.: Андреев В.П.

тел.: +7(965)210-79-51

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук Андреева Виктора Павловича на диссертацию Прохорова Павла Дмитриевича «Разработка двухканальной системы измерения положения лопастей вертолета», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальностям 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)» и 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

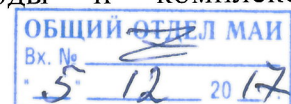
### 1. Актуальность темы и соответствие диссертации требованиям ВАК РФ

Одной из наиболее важных проблем эксплуатации вертолётов является обеспечение безопасности полёта в сложных условиях: при сильном ветре, при выполнении энергичного, но недостаточно координированного манёвра и пр. В подобных случаях на вертолётах с соосной схемой расположения несущих винтов возможно опасное сближение их лопастей.

Диссертация Прохорова П.Д. посвящена исследованию и разработке методов измерений положения лопастей и траектории их движения на различных режимах работы винта вертолёта. Полученные результаты позволят в перспективе создать бортовую систему контроля положения лопастей несущих винтов вертолёта, которая исключит возможность возникновения опасных ситуаций сближения их лопастей.

Таким образом, тему диссертационного исследования следует считать **актуальной**.

Тема работы соответствует отрасли технических наук и паспорту специальностей 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)» и 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».



## 2. Основные научные результаты, их новизна и ценность

### для науки и практики

Полученные в диссертации основные результаты и новизна работы заключаются в следующем:

- 2.1 На основе анализа существующих разработок показано, что рассмотренные в диссертации системы не позволяют получать параметры отклонения торца лопастей несущего винта во всём круговом диапазоне положения лопасти. Этот недостаток обусловлен, в основном, наличием лишь одного канала измерений.
- 2.2 Показано, что контроль положения и траектории движения лопасти несущего винта вертолётá может быть реализован с помощью двухканальной измерительной системы, включающей подсистемы тензометрических и оптических измерений.

Тензометрическая подсистема с помощью тензодатчиков, закреплённых на лопасти винта, позволяет контролировать величину отклонения торца лопастей несущего винта *во всём круговом диапазоне положения лопасти*. Оптическая подсистема позволяет выполнять «привязку» показаний тензометрической системы к вертолётной системе координат за каждый оборот винта. В результате оказывается возможным контролировать взаимное положение торцов лопастей несущих винтов на вертолётáх с соосной схемой их расположения.

- 2.3 Предложена методика комплексирования показаний оптических и тензометрических подсистем, основанная на математической модели пересчёта тензометрических измерений в отклонения торца лопасти в системе координат видеокамеры, которая, в свою очередь, связана с вертолётной системой координат.

Предложенная модель пересчёта представляется в виде полинома, переменными которого являются значения тензоизмерений, а коэффициенты полинома рассчитываются на основе результатов оптических измерений, получаемых за каждый оборот винта –

выполняется калибровка тензодатчиков в режиме реального времени. Подобный подход позволяет перевести данные, получаемые в локальных системах координат каждого тензодатчика, в систему координат видеокамеры, и затем в систему координат вертолѐта.

- 2.4 Разработан комплекс алгоритмов, реализующих предложенную методику комплексирования показаний оптических и тензометрических подсистем.
- 2.5 Разработан программно-аппаратный комплекс, реализующий двухканальную систему контроля положения торца лопасти на электровинтовом стенде АО «Камов».
- 2.6 Экспериментально показана эффективность предложенной двухканальной измерительной системы.

Полученные теоретические и практические результаты могут быть непосредственно использованы для создания бортовой системы динамического контроля состояния лопастей несущих винтов вертолѐта, что окажет существенное влияние на повышение безопасности полѐтов.

### **3. Достоверность и обоснованность основных выводов и результатов исследования**

Приведѐнные в работе данные, полученные в результате большого количества натуральных экспериментов на электровинтовом стенде АО «Камов», подтверждают достоверность и обоснованность основных выводов и результатов исследования.

Показано, что в соответствии с теоремой отсѐтов при частотном спектре перемещения лопасти, ограниченном частотой  $100 \text{ Гц}$ , на один оборот несущего винта должно приходиться не менее 20 отсѐтов. Откуда следует, что при максимальной частоте вращения винта  $10 \text{ об/сек}$  *время между отсѐтами* тензометрической подсистемы должно составлять не более  $5 \text{ мсек}$ . Показания оптической подсистемы также должны обрабатываться за это же время с тем, чтобы коэффициенты полинома были

рассчитаны уже к моменту первого за текущий оборот винта снятия показаний тензометрической подсистемы. Данный временной показатель накладывает соответствующие требования на скорость работы алгоритмов анализа показаний подсистем.

К рассматриваемой системе контроля состояния лопастей несущих винтов вертолѐта, как и к любой информационно-измерительной системе, предъявляются требования по точности измерений. Исходя из технических параметров эксплуатации вертолѐтов с соосной схемой расположения несущих винтов, среднеквадратическая ошибка  $\sigma$  измерения положения торца лопасти *в системе координат вертолѐта* в вертикальной плоскости не должна превышать 10 мм во всѐм круговом диапазоне положения лопасти винта.

Выполненные теоретические исследования, разработанное программное обеспечение и параметры экспериментальной установки удовлетворяют перечисленным требованиям.

#### **4. Достоинства диссертации**

Несомненное достоинство диссертации – решение практически значимой задачи измерения положения лопастей несущего винта вертолѐта *во всѐм круговом диапазоне положения лопасти* в реальном масштабе времени, что позволит в перспективе организовать управление режимом полѐта или лопастями винтов с целью исключения их опасного сближения.

Диссертационная работа обладает внутренней целостностью и завершѐнностью. Теоретические выкладки обоснованы, разработанные алгоритмы реализованы в программно-аппаратном комплексе двухканальной системы измерения, работоспособность которого подтверждена экспериментально.

Диссертация написана хорошим научным языком. Автор в достаточной мере владеет аппаратом цифровой обработки изображений, успешно использует методы теории информации и статистические методы распознавания.

## 5. Направление дальнейших исследований

Дальнейшее развитие работы представляется целесообразным по трём направлениям:

- развитие информационно-измерительной системы контроля положения лопастей несущих винтов вертолётa до уровня информационно-измерительной и *управляющей системы*, способной обеспечить безаварийную эксплуатацию вертолётa в сложных условиях полётa;
- совершенствование метода сегментации изображений в подсистеме оптических измерений с целью обеспечения его робастности;
- разработка программно-аппаратного комплекса предложенной двухканальной системы измерений, который может быть включён в бортовую систему управления вертолётa и эффективно работать в условиях его реальной эксплуатации.

## 6. Замечания по диссертации

По содержанию представленной на отзыв диссертации имеются следующие замечания.

**6.1.** Основное замечание относится к выбору метода сегментации изображения. В оптическом канале системы измерений использован известный метод порогового ограничения – вариант единого порога для всех изображений из кадровой последовательности, в котором порог определяется по гистограммам яркостей. Известно, что для эффективной работы метода требуется соответствующая организация сцены (бестеневое освещение, наличие равномерного неструктурированного фона и т.п.). Подобная организация сцены в реальных условиях полётa вертолётa невозможна.

В то же время, такой выбор метода сегментации можно считать обоснованным применительно к условиям стационарной экспериментальной установки, поскольку он прост в алгоритмической реализации и не требует мощного вычислителя (может быть реализован

на одноплатном компьютере) для соблюдения ограничения на время анализа информации ( $\leq 5\text{мсек}$ ).

- 6.2.** В разделе 1.1 «Эффективность управления положением лопастями несущего винта вертолёта» порядок обоснования выбора *количества отсчётов* на один оборот винта и *требуемой частоты измерений* должен быть изменён на обратный, т.е., сначала необходимо определить *требуемую частоту измерений*, а затем *количество отсчётов*.
- 6.3.** В разделе 3.1 «Варианты реализации оптических измерений» в подразделе «Подбор кодека для сжатия видеопоследовательности» для сравнения алгоритмов сжатия изображений использовались 1000 кадров с шумовым наполнением (каждый пиксель заполнялся случайным значением от 0 до 255). Такое решение некорректно, поскольку любое сжатие изображения основано на его избыточности, которое совершенно отсутствует в изображениях, составленных из случайных значений яркости в каждом пикселе цифрового изображения.
- 6.4.** В разделе 4.2.2 «Программное обеспечение вычислительного блока» при описании программных модулей не указаны параметры использованного компьютера и не приводится время работы этих модулей.
- 6.5.** В тексте диссертации используется нумерация **всех** формул, в то время как требуется нумеровать лишь те формулы, на которые имеются ссылки из текста.

Указанные замечания носят частный характер и не снижают общего уровня полученных в диссертации результатов.

## **7. Опубликованность и апробированность результатов диссертации**

Основные положения диссертации и результаты научных исследований по теме диссертации полностью отражены в 12 публикациях, в том числе в 3 статьях в журналах по перечню ВАК РФ.

**8. Содержание автореферата** соответствует основным идеям, результатам, выводам и положениям диссертации.



## 9. Оценка диссертации в целом

Совокупность полученных теоретических и практических результатов позволяет сделать вывод о том, что в представленной работе решена научно-техническая задача, имеющая существенное значение для обеспечения безопасности эксплуатации вертолётов с соосной схемой расположения несущих винтов. При этом в работе содержится совокупность новых научных результатов и положений, выдвигаемых автором для публичной защиты. Следует отметить её высокий научный уровень, большой объём выполненных исследований и реальную возможность практической реализации предложенных решений.

Представленная работа полностью соответствует требованиям, предъявляемыми к кандидатским диссертациям ВАК при Министерстве образования и науки РФ по актуальности, новизне, теоретической и практической ценности, достоверности, опубликованности и апробированности основных результатов, а её автор Прохоров Павел Дмитриевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальностям 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)», 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент,  
доктор технических наук,  
профессор ФГБОУ ВО  
МГТУ «СТАНКИН»,

В.П. Андреев

Место работы: МГТУ «СТАНКИН».

Рабочий адрес: 127055, Москва, Вадковский пер., 1.

Рабочий телефон: +7(965)210-79-51.

Адрес электронной почты: andreevvp@yandex.ru

05.12.2017 *Tidney*

Подпись и реквизиты доктора технических наук, профессора МГТУ «СТАНКИН» Андреева Виктора Павловича заверяю:

