

ПАО «Корпорация «Иркут»  
Ленинградский проспект, д. 68  
Москва, 125315, Россия  
Телефон: (495) 777-21-01  
Факс: (495) 221-36-39



inbox@irkut.com  
www.irkut.com  
ОКПО 07504910  
ОГРН 1023801428111  
ИНН 3807002509, КПП 997850001

Публичное акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Иркут»

15.12.2017 № 18949

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Учёному секретарю  
диссертационного совета Д 212.125.12  
Московского авиационного института  
(национального исследовательского  
университета)  
к. т. н., доценту А. В. Старкову

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

Уважаемый Александр Владимирович!

Направляю Вам отзыв на автореферат диссертационной работы Прохорова Павла Дмитриевича на тему: «Разработка двухканальной системы измерения положения лопастей вертолёта», представленной 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».

Приложение: Отзыв на автореферат диссертации П. Д. Прохорова,  
2 экз. на 5 листах каждый.

Вице-президент по разработке АТ –  
Директор Инженерного центра,  
Главный конструктор МС-21,  
кандидат технических наук

К. Ф. Попович



Исп. А. Н. Митриченко  
Тел. +7(495)777-21-01, доб. 77-54

УТВЕРЖДАЮ

Старший вице-президент,  
Исполнительный директор,  
кандидат технических наук

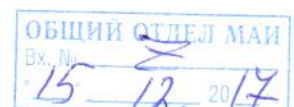


В. Б. Прутковский

» 12 2017 г.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Прохорова Павла Дмитриевича «Разработка двухканальной системы измерения положения лопастей вертолета», представленной к защите 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»



Проблемы повреждения конструкции винтокрылых аппаратов вследствие удара лопасти несущего винта по хвостовой балке или фюзеляжу, а также возможного столкновения лопастей несущих винтов широко известны.

Причинами данного явления могут быть попадание в условия сильных атмосферных возмущений или ошибки пилотирования, связанные с выходом за установленные ограничения, также должно учитываться явление изгиба лопастей вертолета при различных режимах работы двигателя.

В соответствующей нормативной документации АП-27, АП-29 (Авиационные правила Винтокрылых аппаратов) существует требование 27.661:

«Зазор между лопастями винта и частями конструкции. Должен быть достаточный зазор между лопастями винта и другими частями конструкции для предотвращения удара лопастей о любую часть конструкции в любых ожидаемых условиях эксплуатации».

Соответствие данному требованию демонстрируется как в наземных испытаниях, при гонках двигателя пришвартованного вертолета, так и в летных испытаниях при выполнении комплекса типовых маневров (висения, развороты на висении, полет хвостом вперед, полет боком, импульсные дачи рычагами управления, скольжения, разгоны от висения, прямолинейный полет со снижением или набором, виражи с креном, горки с тангажом, набор со скольжением, режимы авторотации). Для данных испытаний винтокрылые аппараты оснащаются специальными системами регистрации положения лопастей.

По результатам данных испытаний разрабатываются специальные ограничения, касающиеся области эксплуатации или приемов пилотирования, либо в системе управления реализуются автоматические ограничительные функции.

Как следует из автореферата, автором рассмотрены существующие типы измерительных средств и предложена оригинальная схема



комплексирования данных измерений полученных с помощью датчиков различных типов, разработан алгоритм обработки измерений, разработан аппаратно-программный комплекс обработки, проведены натурные экспериментальные исследования.

В части измерительных средств автор предлагает одновременное использование тензометрических датчиков, регистрирующих изгибные деформации лопастей и оптического канала (высокоскоростной видеокамеры), фиксирующей положение лопасти. Оба способа известны: тензометрический имеет преимущество в контроле положения лопасти во всем диапазоне вращения  $0...360^\circ$ , однако имеет проблемы с тарировкой и пересчетом деформаций в линейные перемещения, а также существует проблема с разбросом показаний отдельных датчиков; оптический позволяет напрямую получить положение, но в небольшом угловом диапазоне направленности видеокамеры.

Автор предлагает оригинальное решение комплексирования данных измерений двух типов, основанное на разработке математической модели пересчета данных тензодатчиков по показаниям видеокамеры. С использованием численных методов оптимизации осуществляется пересчет массива данных тензоизмерений по показаниям оптической системы, что позволяет выделить только наиболее близкие к истинным значениям измерения во всем диапазоне вращения лопасти. Таким образом, посредством математического программирования и численных методов решена многомерная задача оптимизации.

В аппаратной части использованы малогабаритные тензодатчики, установленные на лопастях, передающие данные посредством цифрового радиоканала, что является достаточно инновационным решением.

В части оптического канала измерения автор представляет комплекс алгоритмов обработки видеоинформации, предназначенный для увеличения точности обнаружения лопасти на видеокадре. Данные методы характерны для систем технического зрения. В частности, для бинаризации

(однозначного разделения фона и лопасти) используется метод подсветки и экранирования.

Также разработан программно-аппаратный комплекс (вычислительная система) обрабатывающий и преобразующий данные оптического и тензометрического каналов.

С использованием испытательной установки – наземного винтового стенда осуществлены экспериментальные исследования для нескольких режимов шага установки лопастей и различных режимов работы двигателя. Определены траектории движения лопастей, подтверждена работоспособность разработанной установки. Результаты эксперимента показали высокую сходимость данных (комплексного измерения), полученных с помощью установки и точных значений положения лопастей.

В целом, автор предлагает оригинальное техническое решение, необходимое для обеспечения испытательных работ. Научная новизна работы заключается в комплексировании данных разнородных измерительных систем с увеличением в результате точности измерения.

К недостаткам, выявленным в автореферате диссертации, следует отнести:

- не проработанность вопроса возможности использования данной установки в летных испытаниях винтокрылых аппаратов;

- не приведены возможные особенности использования оптического измерительного канала для различных материалов лопастей (например, композитных).

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную характеристику полученных результатов работы, так как исчерпывающие данные приведены в тексте диссертационной работы.

Вывод: Диссертационная работа Прохорова Павла Дмитриевича «Разработка двухканальной системы измерения положения лопастей вертолета» подготовлена на актуальную тему. Работа выполнена на современном научном и техническом уровне, является законченной научно-



исследовательской работой. По новизне, научной и практической ценности отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор заслуживает присвоения ему 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».

Вице-президент по разработке АТ –  
Директор Инженерного центра,  
Главный конструктор МС-21,  
кандидат технических наук

К. Ф. Попович

Зам. Главного конструктора  
по системам управления –  
Начальник отделения

А. Н. Митриченко

Начальник отдела моделирования  
систем управления

С. В. Байков

Место работы: ПАО «Корпорация «Иркут».

Рабочий адрес: 125315, г. Москва, Ленинградский проспект, дом 68.

Рабочий телефон: +7 (495) 777-21-01, доб. 82-80.

Адрес электронной почты: Sergey.Baykov@irkut.com.

15.12.2017

Подписи К. Ф. Поповича, А. Н. Митриченко,  
С. В. Байкова заверяю.

Руководитель департамента управления  
персоналом ПАО «Корпорация «Иркут»



А. Р. Бахарев