

## УТВЕРЖДАЮ

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

Воробьев В.В.

24 октября 2023 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Луханина Владимира Олеговича «Методика проектирования электроприводных воздушных винтов беспилотных летательных аппаратов с учётом технологии изготовления и стендовых испытаний», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13. – Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов.

### Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа Луханина Владимира Олеговича посвящена разработке комплексного подхода к проектированию воздушных винтов для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с электроприводом. В настоящее время такие БПЛА всё шире применяются как в военных целях, так и в целях обеспечения потребностей граждан и экономики. При этом проектирование воздушных винтов с электроприводом имеет свои особенности, которые не учитываются в существующих методиках, в них не освещены вопросы ограничений по условиям работы электродвигателя, испытаний винтов и двигателей. В связи с этим актуальность темы не вызывает сомнений.

### Содержание работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 122 наименований, общий объем составляет 138 страниц.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, проанализирована степень разработанности темы исследования, указана цель и задачи работы, определены объект и предмет исследования. Также приведены положения, определяющие научную новизну, теоретическую и практическую значимость диссертации и основные положения, выносимые на защиту.

**Глава 1** посвящена рассмотрению математических моделей аэродинамики воздушного винта, используемых в данной работе, описаны доработки этих моделей, приведен алгоритм расчёта аэродинамических характеристик изолированного воздушного винта, а также приведена оценка адекватности предлагаемой методики, которая показала, что предлагаемые доработки приводят к существенному уменьшению отклонения расчётных характеристик винта от экспериментальных.

Отдел документационного обеспечения МАИ

«7» 11 2023

**Глава 2** содержит описание математической модели электродвигателя и совместной работы воздушного винта и электропривода. Приведены расчётные и экспериментальная зависимости величины тока на входе в контроллер от оборотов двигателя, приводящего во вращение воздушный винт, которые показывают, что зависимость силы тока, полученная по измеренному моменту, хорошо согласуется с экспериментом. Это свидетельствует об адекватности принятой математической модели электродвигателя.

**Глава 3** посвящена изложению методики оптимизации силовой установки беспилотных летательных аппаратов с электроприводом. Оптимизация воздушного винта в данной работе заключается в определении таких его геометрических параметров, при которых значение целевой функции достигает экстремума при соблюдении существующих ограничений. Целевыми функциями могут являться: полётный КПД силовой установки, потребляемая электрическая мощность, дальность полёта, продолжительность полета или максимальная скорость горизонтального полёта.

Для решения задачи условной оптимизации в работе было принято решение использовать метод случайного поиска с возвратом при неудачном шаге.

Применение разработанной методики для решения задачи проектирования воздушного винта под существующий БПЛА, оснащённый электроприводом, показало возможность существенного увеличения его максимальной скорости по сравнению со штатным воздушным винтом при сохранении прежних взлётно-посадочных характеристик.

**Глава 4** даёт представление о технологиях изготовления воздушных винтов БПЛА и влиянии технологии изготовления на форму лопастей воздушного винта и его аэродинамические характеристики. Анализ технологии изготовления показал, что поправки на утолщение задней кромки профиля оказывают существенное влияние на коэффициенты аэродинамических сил, в особенности на коэффициент силы лобового сопротивления.

**Глава 5** посвящена испытаниям воздушных винтов БПЛА с электроприводом. Здесь изложен подход к испытаниям силовой установки БПЛА с электроприводом в целом, а также методика испытаний воздушного винта и электропривода в отдельности.

Методики испытаний электроприводов, воздушных винтов и винтомоторных групп в целом, приведённые в данной главе, позволяют существенно упростить и удешевить проведение экспериментальных исследований БПЛА.

Для обоснования достоверности предлагаемых методик были проведены эксперименты с использованием существующих электродвигателей, приводивших во вращение воздушные винты фиксированного шага.

**В Заключение** диссертации сформулированы основные результаты данного диссертационного исследования и перспективы дальнейших работ.

**Тема и содержание диссертации** соответствуют паспорту специальности 2.5.13 – Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов.

**Научная новизна работы** заключается в разработке методики оптимального проектирования воздушных винтов электроприводных БПЛА с учётом особенностей технологии изготовления лопастей и ограничений, обусловленных

условиями работы электрической силовой установки на различных режимах полёта БПЛА.

### **Практическая значимость полученных результатов**

Практическая значимость работы состоит в основном в разработке программы расчета аэродинамических характеристик воздушных винтов, лопасти которых имеют отклонения от теоретического контура, обусловленные технологией изготовления, а также в создании методики проектирования воздушных винтов БПЛА, позволяющей минимизировать отклонения летно-технических характеристик от требуемых значений.

### **Степень достоверности результатов работы**

Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается путём сопоставления результатов расчётов с экспериментальными данными, полученными лично автором, а также опубликованными в отечественных и зарубежных источниках.

### **Замечания по диссертационной работе**

В работе имеются некоторые недостатки:

1. В работе заявлено решение задачи оптимизации воздушного винта, что предполагает, очевидно, решение задачи многокритериальной оптимизации, причем сам автор упоминает несколько целевых функций. Однако в работе предлагается алгоритм оптимизации только по одной целевой функции.

2. В работе рассмотрена работа винта только на месте и при осевом обтекании, что характерно только при висении БПЛА и крейсерском полете БПЛА самолетного типа, что несколько снижает практическую значимость работы.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы и могут быть учтены автором при проведении дальнейших исследований.

Автореферат соответствует содержанию диссертации по необходимым квалификационным признакам: цели, задачам, новизне, актуальности, достоверности, научной и практической значимости, правильно отражает содержание диссертации.

Основные положения диссертации отражены в 8-ми печатных работах, 3 из которых – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

### **Заключение по диссертации**

Диссертация Луханина Владимира Олеговича выполнена на актуальную тему, 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 п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Луханин Владимир Олегович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата

технических наук по специальности 2.5.13 – Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры «Аэродинамика, конструкция и прочность летательных аппаратов» 24 октября 2023, протокол № 4.

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: m.kiselev@mstuca.aero  
доктор технических наук, профессор



(подпись)

Киселев Михаил Анатольевич  
(Ф.И.О. полностью)

24 октября 2023 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

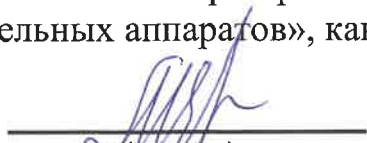


(подпись)

Ефимов Вадим Викторович  
(Ф.И.О. полностью)

24 октября 2023 г.

Ученый секретарь кафедры «Аэродинамика, конструкция и прочность летательных аппаратов», кандидат технических наук, доцент



(подпись)

Ефимова Марина Григорьевна  
(Ф.И.О. полностью)

24 октября 2023 г.

С отзывом ознакомлен 7.11.2023 