

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: 24.2.327.09

Соискатель: Луханин Владимир Олегович

Тема диссертации: Методика проектирования электроприводных воздушных винтов беспилотных летательных аппаратов с учётом технологии изготовления и стендовых испытаний

Специальность: 2.5.13. «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:

На заседании 26 декабря 2023 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация полностью удовлетворяет пунктам 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, и принял решение присудить Луханину Владимиру Олеговичу ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: д.т.н., проф. В.Н. Евдокименков, к.т.н. Д.Ю. Стрелец, д.т.н., академик РАН О.М. Алифанов, д.т.н., доц. А.Г. Викулов, д.ф.-м.н., доц. А.В. Волков, д.т.н. Л.М. Гавва, д.т.н., проф. В.Г. Дмитриев, д.т.н., проф. А.А. Дудченко, д.т.н., доц. В.М. Краев, д.т.н., доц. О.В. Митрофанов, д.т.н., доц. А.М. Молчанов, д.т.н., проф. А.В. Ненарокомов, д.т.н., проф. С.Г. Парафесь, д.ф.-м.н., проф. Л.Н. Рабинский, д.т.н., проф. М.В. Силуянова, д.ф.-м.н., доц. Г.В. Федотенков, д.т.н., проф. В.В. Фирсанов, д.т.н. В.И. Шевяков.

Ученый секретарь диссертационного совета
24.2.327.09, к.т.н.


Д.Ю. Стрелец

Начальник отдела
Т.А. Аникина



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.09
созданного на базе Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования «Московский
авиационный институт (национальный исследовательский университет)»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации
(МАИ)

по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 26.12.2023 г., протокол № 27

О присуждении **Луханину Владимиру Олеговичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Методика проектирования электроприводных воздушных винтов беспилотных летательных аппаратов с учётом технологии изготовления и стендовых испытаний» по специальности 2.5.13. – «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов» принята к защите 13 октября 2023 г., протокол заседания № 21, диссертационным советом 24.2.327.09, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ, Московский авиационный институт), 125993, Москва, Волоколамское шоссе, 4, приказ Минобрнауки России о создании совета № 1738/нк от 13.12.2022 г., приказ о внесении изменений в состав совета №1326/нк от 22.06.2023 г., приказ о внесении изменений №1986/нк от 18.10.2023 г.

Соискатель Луханин Владимир Олегович, 22 марта 1996 года рождения.

В 2019 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», специалитет по направлению подготовки 24.05.07 – «Самолёто- и вертолестроение» (диплом специалиста 107718 1077362, регистрационный номер 2019/10-095Д от 25 января 2019 года). В 2023 году окончил обучение в аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 24.06.01 – «Авиационная и ракетно-космическая техника» (диплом об окончании аспирантуры 107733 0004353, регистрационный номер 2023/10-408Д от 06 июля 2023 года).

В период подготовки диссертации соискатель Луханин Владимир Олегович работал в должности инженера в научно-исследовательском отделе кафедры 106 «Динамика и управление полётом пилотируемых ЛА» федерального

государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на кафедре 102 «Проектирование вертолетов» Института №1 «Авиационная техника».

Научный руководитель – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры 102 «Проектирование вертолетов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Артамонов Борис Лейзерович.

Официальные оппоненты:

1. **Крицкий Борис Сергеевич** – гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, Федеральное автономное учреждение «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФАУ «ЦАГИ»), МО, г. Жуковский, главный научный сотрудник.

2. **Николаев Евгений Иванович** – гражданин Российской Федерации, кандидат технических наук, АО «Казанский вертолетный завод», РТ, г. Казань, начальник отдела прочности и аэродинамики.

Все оппоненты дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА), г. Москва, в своем положительном отзыве, обсужденном на заседании кафедры «Аэродинамика, конструкция и прочность летательных аппаратов» ФГБОУ ВО МГТУ ГА (протокол №4 от 24.10.2023), подписанном заведующим кафедрой, доктором технических наук Киселевым М.А., профессором кафедры «Аэродинамика, конструкция и прочность летательных аппаратов», доктором технических наук Ефимовым В.В., ученым секретарем кафедры «Аэродинамика, конструкция и прочность летательных аппаратов», кандидатом технических наук Ефимовой М.Г., утверждённом проректором по научной работе и инновациям, доктором технических наук Воробьёвым В.В., указала, что диссертационная работа удовлетворяет требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор – Луханин Владимир Олегович, заслуживает присуждения этой учёной степени по специальности 2.5.13. – «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов»

Соискатель имеет 8 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 8 работ, включающих 3 статьи, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, и в отечественных изданиях, которые входят в международные реферативные базы данных и системы цитирования. Наиболее значимыми научными работами по теме диссертации являются:

Статьи в рецензируемых журналах перечня ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, и в отечественных изданиях, которые входят в международные реферативные базы данных и системы цитирования:

1. Луханин В.О. Простые соотношения для вычисления индуктивных скоростей в лопастной теории винта в осевом потоке // Общероссийский научно-технический журнал «Полёт». - 2018. - №10. - С.39-46

2. Луханин В.О. Теоретическое исследование концевых потерь Х-образного воздушного винта // Общероссийский научно-технический журнал «Полёт». - 2022. - №11-12. - С.38-42

3. Артамонов Б.Л., Луханин В.О. Математическое моделирование работы воздушного винта с электроприводом // Известия вузов. Авиационная техника. - 2023. - №2. - С. 28-35.

В работе Луханин В.О. лично спроектировал и изготовил экспериментальную модель воздушного винта, провёл его испытания на стенде совместно с электроприводом в режиме работы «на месте», разработал методику расчёта характеристик электрической силовой установки с учётом свойств и ограничений электродвигателя, программно реализовал методики аэродинамического расчёта воздушного винта на основе дисковой и лопастной вихревых теорий, выполнил расчёты, подтверждающие достоверность математической модели.

В диссертационной работе отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты, представленные в диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы:

1. **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА), ведущая организация.** Отзыв положительный. Подписан заведующим кафедрой «Аэродинамика, конструкция и прочность летательных аппаратов», доктором технических наук Киселевым М.А., профессором кафедры «Аэродинамика, конструкция и прочность летательных аппаратов», доктором технических наук

Ефимовым В.В., ученым секретарем кафедры «Аэродинамика, конструкция и прочность летательных аппаратов», кандидатом технических наук Ефимовой М.Г., утверждён проректором по научной работе и инновациям, доктором технических наук Воробьёвым В.В.

К работе имеются следующие замечания:

- 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.

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

2. Крицкий Борис Сергеевич, официальный оппонент, доктор технических наук. **Отзыв положительный**, заверен ученым секретарем диссертационного совета на базе ЦАГИ 31.1.006.01, доктором физико-математических наук Брутян М.А.

К работе имеются следующие замечания:

- Недостаточно исследовано влияние технологических отклонений задней кромки профиля лопасти на аэродинамические характеристики винта.

- Не исследованы оптимальные формы лопастей винта по критериям максимальной дальности и продолжительности полёта ЛА.

- В диссертации используются профессионализмы и техницизмы, в частности, «обороты» винта вместо частоты вращения.

3. Николаев Евгений Иванович, официальный оппонент, кандидат технических наук. **Отзыв положительный**, заверен начальником отдела учёта персонала и организационной эффективности О.Н. Вигуляевой.

К работе имеются следующие замечания:

- В работе для расчета индуктивных скоростей применялись линейные теории винта, что может внести погрешности даже в проектировочные методики расчета.

- В работе не указаны пределы применимости разработанных автором методик расчета ни по максимальной скорости полета ЭБПЛА, ни по максимальному числу Маха на конце лопасти воздушного винта.

- Остался открытым вопрос изменения коэффициента аэродинамического момента профиля в зависимости от толщины задней кромки лопасти, который возникнет при определении проектных параметров ВИШ.

- В описании методики испытаний воздушных винтов (глава 5) не приведен полный перечень характеристик винтомоторной группы, который необходим для программы оптимизации параметров винта.

- В диссертации имеется ряд опечаток, грамматических ошибок (лишние запятые или отсутствие запятых, неправильные окончания слов).

4. АО «Казанский вертолётный завод», отзыв на автореферат. Отзыв положительный, подписан заместителем начальника отдела прочности и аэродинамики, д.т.н. Неделько Д.В., ученым секретарем научно-технического совета, к.т.н. Сафиуллин А.Ф., утверждён заместителем управляющего директора – главным конструктором ОКБ – председателем научно-технического совета АО «Казанский вертолётный завод» Гариповым А.О.

К работе имеются следующие замечания:

- Отсутствует информация по экспериментальному подтверждению величины максимальной скорости беспилотных летательных аппаратов с оптимизированными воздушными винтами фиксированного и изменяемого шагов

- Не указано, требуется ли доработка кода программ оптимизации воздушного винта при изменении целевой функции, например, дальности или продолжительности полета, или он является универсальным

5. ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», отзыв на автореферат. Отзыв положительный, подписан заместителем директора института авиации, наземного транспорта и энергетики по научной работе, к.т.н. Ледянкиной О.А., утверждён и.о. проректора по научной и инновационной деятельности КНИТУ-КАИ, д.т.н. Бабушкиным В.М.

К работе имеются следующие замечания:

- Как влияет утолщение задней кромки на аэродинамические характеристики профиля Еррег 387 в частности и на аэродинамические характеристики профилей в общем случае?

- В каких единицах измерения представлены относительная разница коэффициентов тяги и крутящего момента на рисунке 3 и поправки к коэффициентам лобового сопротивления и подъемной силы на рисунке 4?

6. АО «НЦВ Миль и Камов», отзыв на автореферат. Отзыв положительный, подписан начальником научно-исследовательского отдела имитационного и функционального моделирования НКЦ ППВКЛА АО «НЦВ

Миль и Камов» Сизовым А.В., утверждён главным конструктором – заместителем директора научно-конструкторского центра перспективного проектирования ВКЛА АО «НЦВ Миль и Камов» Вагиным А.Ю.

К работе имеются следующие замечания:

- В работе отсутствует сравнение параметров и характеристик ВВ, полученных по разработанной автором методике проектирования, с аналогичными характеристиками винтов, спроектированных по существующим методикам.
- Не сделан анализ рынка ВВ существующих БПЛА и не проведен сравнительный анализ их характеристик по разработанной методике.
- Недостаточно отражено влияние технологии изготовления ВВ на их аэродинамические характеристики, а также летно-технические характеристики БПЛА в целом.
- Используемый автором термин «стенд для проведения испытаний» применительно к созданной им установке для снятия внешних характеристик малогабаритных ЭД, используемых на БПЛА, не в полной мере соответствует устоявшимся понятиям о стенде, как экспериментальном оборудовании.

7. **ФАУ «ЦАГИ»**, отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан начальником научно-исследовательского центра комплексных исследований и разработок винтокрылых летательных аппаратов (НИЦ КИиР ВКЛА), к.т.н. Миргазовым Р.М., заверен ученым секретарем диссертационного совета 31.1.006.01, д.ф.-м.н. Брутян М.А.

К работе имеются следующие замечания:

- Не описан алгоритм получения балансировочной поляры БПЛА вертикального взлета и посадки, для которого в диссертации получены параметры оптимального воздушного винта по критерию максимальной скорости полета.
- Не приведены численные значения повышения скорости вычисления индуктивных скоростей на основе лопастной вихревой теории в фиксированных точках радиуса лопасти, которые, по утверждению автора могут быть получены при использовании алгоритма одномерной линейной интерполяции по скорости невозмущенного воздушного потока, набегающего на винт.
- Не учтено влияние степени разрядки аккумуляторной батареи на изменение по времени максимальной скорости полета БПЛА и, соответственно, предельно возможной дальности полета

8. АО НПК «ПАНХ», отзыв на автореферат. Отзыв положительный, подписан ученым секретарем АО НПК «ПАНХ», д.т.н. Асовским В.П., заверен старшим специалистом по кадрам АО НПК «ПАНХ» Трубиной Е.В.

К работе имеются следующие замечания:

- Определенная несбалансированность представления в автореферате результатов исследований, в частности, по технологическим особенностям изготовления винтов (описание Главы 4 диссертации (с. 22) изложено в 7 строк), что не позволяет в полной мере оценить полученные результаты
- Недостаточно четко описана разработанная методика оптимального проектирования воздушных винтов для разных технических критериев, которые могут не в полной мере отражать целевое назначение БПЛА
- Отсутствие в автореферате данных по быстродействию предложенных автором методов и алгоритмов расчета характеристик воздушных винтов

9. АО «Вертолеты России», отзыв на автореферат. Отзыв положительный, подписан руководителем проектов перспективных разработок АО «Вертолеты России», к.т.н., д.ист.н. Михеевым В.Р.

К работе имеются следующие замечания:

- не представлены результатов оптимизации воздушного винта БПЛА по другим критериям, кроме максимальной скорости
- необходимо более подробное описание содержания глав 4 и 5 диссертации
- мелкие подписи осей координат на рисунках 11 и 13 затрудняют восприятие содержания

10. Филиал ВУНЦ ВВС «ВВА им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» в г. Сызрани, отзыв на автореферат. Отзыв положительный, подписан доцентом 6 кафедры аэродинамики и динамики полёта филиала ВУНЦ ВВС «ВВА им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» в г. Сызрани, к.т.н. Полуяхтовым В.А., заверен начальником отдела кадров филиала ВУНЦ ВВС «ВВА им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» в г. Сызрани Бариновым И.В.

К работе имеются следующие замечания:

- предложенная математическая модель силовой установки не учитывает темпа изменения мощности при разряде аккумуляторных батарей
- из автореферата не ясно, выполнялся ли расчёт статической прочности при выборе конструкции и материалов лопастей воздушного винта

11. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр «Институт имени Н.Е. Жуковского», отзыв на автореферат. Отзыв положительный, подписан

начальником отделения проектного комплекса «Роботизированные авиационные системы» ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского», к.т.н. Настасом Геннадием Николаевичем, начальником отделения департамента беспилотных авиационных систем ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского», к.т.н. Благодарящевым Игорем Вадимовичем, заверен начальником отдела кадров ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского» А.С. Никифоровым.

К работе имеются следующие замечания:

- В выводах не показан вклад решения каждой научной задачи исследования в итоговый результат
- В автореферате отсутствует сравнение полученного результата с результатами других работ по данной тематике
- Для обоснования конструктивной схемы ВВ целесообразно было бы провести сравнительную оценку ВВ различных конфигураций

12. Общество с ограниченной ответственностью «ВедаПроект», отзыв на автореферат. **Отзыв положительный,** подписан генеральным директором ООО «ВедаПроект» Алергантом Марком Соломоновичем.

К работе имеются следующие замечания:

- В автореферате не указан диапазон размерностей БПЛА для которых применима данная методика.
- В работе рассмотрен БПЛА самолётного типа, но не указано, можно ли применять данную методику для других типов ЛА.
- Оформление рисунков 5 и 6 отличается от остальных при этом не подписаны вертикальные оси, а изображения не отмечены отдельными буквами.

13. ФГБОУ ВО Балтийский Государственный технический университет "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова", отзыв на автореферат. **Отзыв положительный,** подписан доцентом кафедры «Стартовые и технические комплексы ракет и космических аппаратов» ФГБОУ ВО Балтийский Государственный технический университет "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова", к.т.н. С.В. Гагарским, утверждён проректором по научной работе и инновационному развитию ФГБОУ ВО Балтийский Государственный технический университет "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова", к.т.н. С.А. Матвеевым.

К работе имеются следующие замечания:

- При выборе конструктивных параметров ВМГ в условиях многорежимного использования создаваемого летательного аппарата постановку задачи оптимизации, возможно, следует сформулировать как задачу многокритериальной оптимизации с ранжированием

критериев. В этом случае каждый режим представляется отдельным критерием в составе глобальной свертки (аддитивной/мультипликативной/минимаксной) с соответствующим весовым коэффициентом (ранжированием). Аналогично учет функциональных ограничений работы электродвигателя на каждом режиме полета также может рассматриваться с учетом ранжирования важности соответствующего требования.

14. ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан и.о. зав. кафедрой авиационной теплотехники и теплоэнергетики ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», к.т.н. Н.С. Сенюшкиным.

К работе имеются следующие замечания:

- Из работы не ясно, чем исследуемые винты для БПЛА с электроприводом отличаются от винтов самолетов с ДВС, а также пилотируемых машин. Можно ли данную методику применять для них.
- На рисунке 8 приведен алгоритм разработки винта. При несоответствии ТЗ предлагается вернуться к пункту определения параметров БПЛА. При этом изменение ТЗ БПЛА маловероятно. По данным, приведенным в автореферате, не ясно, как изменится результат моделирования при следующей итерации.
- На стр. 23 написано, что методика удешевляет проведение экспериментальных исследований воздушных винтов, но нет разъяснения, как это происходит, а также нет оценки степени влияния на процесс.

15. АО «Улан-Удэнский авиационный завод», отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан заместителем главного инженера АО «Улан-Удэнский авиационный завод» Р.М. Давлетовым, начальником отдела перспективных разработок авиационной техники АО «Улан-Удэнский авиационный завод» Д.М. Чепакон, первым заместителем генерального директора – главным инженером АО «Улан-Удэнский авиационный завод» С.В. Соломиным

К работе имеются следующие замечания:

- Не ясно, учитывалась ли интерференция воздушного винта и планера летательного аппарата при выполнении аэродинамического расчета для определения потребной силы тяги воздушного винта.
- Нет ответа на вопрос, можно ли применять разработанную методику для исследования беспилотных летательных аппаратов типа «квадрокоптер».

16. ООО «Научно Инженерная Компания», отзыв на автореферат.
Отзыв положительный, подписан руководителем бригады перспективных разработок и расчетов ООО «Научно Инженерная Компания» В.В. Константиновым, ведущим специалистом бригады перспективных разработок и расчетов ООО «Научно Инженерная Компания», к.т.н. Н.А. Агафоновой, утверждён генеральным директором ООО «Научно Инженерная Компания» А.Н. Корнеевым.

К работе имеются следующие замечания:

- В разделе «Сравнение расчетных и экспериментальных характеристик воздушного винта» на рисунке 6 приведен график сравнения результатов расчета коэффициента тяги воздушного винта двумя методами с экспериментальными данными. Новый метод показал завышенные показатели $\delta \approx 4.6\%$, в отличие от существующего метода $\delta \approx 1.3\%$.

17. Федеральное автономное учреждение «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова», отзыв на автореферат.
Отзыв положительный, подписан заместителем генерального директора – директором исследовательского центра «Гибридных и электрических силовых установок» ФАУ «ЦИАМ имени П.И. Баранова», к.т.н. А.Н. Варюхиным.

К работе имеются следующие замечания:

- Автором предложен свой метод расчёта индуктивных скоростей, но этот метод не сравнивается с другими методами или экспериментальными данными. Приводится сравнение только двух сторонних методов между собой.
- Большинство винтов имеют различную толщину профиля вдоль его длины, но в данной работе в ходе оптимизации не варьируется толщина аэродинамического профиля. Аэродинамический профиль считается одинаковым вдоль всей длины винта.
- Выбор целевой функцией для оптимизации максимальной скорости горизонтального полёта ЛА выглядит странным. Максимальная скорость, как правило, достаточно жёстко задана условиями ТЗ и не требует увеличения. Хотя, безусловно, этот факт не влияет на значимость и актуальность данной работы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием публикаций в соответствующей сфере исследования, компетентностью, имеющимся у них большим опытом проектирования летательных аппаратов и их систем, в том числе, в области соответствующей паспорту специальности 2.5.13. – «Проектирование, конструкция, производство,

испытания и эксплуатация летательных аппаратов» и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

ФГБОУ ВО МГТУ ГА – один из ведущих высших учебных заведений страны, вносящее значительный вклад в авиационную науку, занимающееся подготовкой высококвалифицированных специалистов для авиационной промышленности. Отзыв на диссертационную работу подписан учеными, которые непосредственно занимаются вопросами проектирования летательных аппаратов, в том числе беспилотных.

Крицкий Борис Сергеевич – д.т.н., автор более 120 работ в области аэродинамики винтокрылых летательных аппаратов.

Николаев Евгений Иванович – к.т.н., специалист в области проектирования винтокрылых летательных аппаратов, что также подтверждается многочисленными публикациями.

Диссертационный совет отмечает, что диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, на основании выполненных соискателем исследований разработана методика проектирования электроприводных воздушных винтов беспилотных летательных аппаратов с учётом технологии изготовления и стендовых испытаний.

Новизна полученных результатов заключается в том, что:

1. Предложена имитационная модель аэродинамических характеристик профилей, позволяющая на 7 - 10% уменьшить отклонение расчётных аэродинамических характеристик воздушного винта от экспериментальных за счёт корректного учёта влияния сжимаемости и вязкости обтекания, а также технологического утолщения задней кромки относительно теоретического контура лопасти.

2. Разработаны быстродействующие методы и алгоритмы расчета аэродинамических характеристик изолированного воздушного винта с произвольной геометрической и аэродинамической компоновкой лопастей на режимах осевого обтекания, работающего совместно с электродвигателем.

3. Разработана методика проектирования оптимального воздушного винта под заданный критерий с учётом параметров электропривода и аэродинамических характеристик планера летательного аппарата, а также отличий фактического контура профиля лопастей от заданного в атласе, обусловленных технологией изготовления лопастей.

4. Разработана методика стендовых испытаний электроприводов и летных испытаний воздушных винтов, позволяющая проводить их без непосредственного измерения крутящего момента.

Теоретическая значимость работы заключается в:

- уточнении формул для расчета концевых потерь воздушного винта с конечным числом лопастей на режимах осевого обтекания;
- получении зависимости коэффициента крутящего момента крыльчатки,

загружающей электродвигатель, от её геометрических параметров;

- выводе формул для формализации количественных ограничений режимов работы электродвигателей по силе тока.

Практическая значимость диссертации

1. Разработан и практически реализован алгоритм и программа расчета аэродинамических характеристик воздушных винтов, лопасти которых имеют отклонения от теоретического контура, заданного в атласе профилей, обусловленные технологией изготовления.

2. Спроектирован, изготовлен и испытан воздушный винт с оптимальными геометрическими параметрами лопастей под заданный электропривод, использованный на экспериментальном БПЛА СКБ АМ МАИ.

3. Создана методика проектирования воздушных винтов БПЛА, позволяющая минимизировать отклонения ЛТХ от требуемых в техзадании и исключить возникновение аварийных ситуаций в условиях реальной эксплуатации ЛА.

4. Новые алгоритмы расчета индуктивных скоростей воздушного винта на режимах осевого обтекания позволяют, в зависимости от числа лопастей и режима работы воздушного винта, в десятки раз уменьшить время, потребное для решения задач по выбору оптимальных параметров винтов по сравнению с существующими методами.

5. Применение разработанной методики для решения задачи оптимизации формы лопастей воздушного винта электроприводного БПЛА-перехватчика по критерию максимальной скорости позволило при фиксированных характеристиках исследуемого аппарата параметрах электродвигателя увеличить скорость его полета со 164 км/ч до 203 км/ч с винтом фиксированного шага или до 283 км/ч с винтом изменяемого шага.

Полученные результаты подтверждены экспериментально, что является основанием для применения разработанной методики в государственных и частных компаниях, занимающихся разработкой БПЛА различного класса.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается их внедрением в СКБ 5 АО «Концерн воздушно-космической обороны «Алмаз – Антей» (получен акт внедрения).

Результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах по проектированию беспилотных летательных аппаратов с электрической силовой установкой.

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

Личный вклад автора состоит в непосредственной реализации всех этапов исследовательского процесса, получении новых научных результатов при

разработке методика проектирования электроприводных воздушных винтов беспилотных летательных аппаратов, в выполнении теоретических и экспериментальных исследований, в обработке, интерпретации и апробации результатов диссертационной работы.

Лично автором предложены новые и усовершенствованные математические модели, разработаны алгоритмы и программы расчёта воздушных винтов, получены результаты стендовых испытаний электроприводов с загрузочной крыльчаткой, изготовлены экспериментальные воздушные винты и крыльчатки, испытательные стенды двигателей.

При непосредственном участии автора была изготовлена продувочная модель исследуемого БПЛА, проведены испытания электропривода и воздушного винта, изготовлен экспериментальный стенд винтомоторной группы.

В ходе защиты критических замечаний высказано не было.

В диссертационной работе все заимствованные материалы представлены со ссылкой на автора или источник. Тем самым работа удовлетворяет п.14 Положения о присуждении ученых степеней.

На заседании 26 декабря 2023 г. диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, и принял решение за **новые научно-обоснованные технические решения**, имеющие существенное значение для развития авиационной отрасли страны в части повышения характеристик и надёжной эксплуатации беспилотных летательных аппаратов с электроприводом, присудить Луханину Владимиру Олеговичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 4 доктора наук по специальности 2.5.13. – «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов», участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя диссертационного совета

24.2.327.09, д.т.н., профессор

Евдокименков Вениамин Николаевич



Ученый секретарь диссертационного совета

24.2.327.09, к.т.н.

Стрелец Дмитрий Юрьевич

«26» декабря 2023 г.

