

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертационную работу
Луханина Владимира Олеговича на тему: «Методика проектирования
электроприводных воздушных винтов беспилотных летательных
аппаратов с учетом 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»**

Диссертационная работа Луханина В.О. посвящена оптимальному проектированию винтомоторной группы электрических беспилотных летательных аппаратов (ЭБПЛА) самолетного типа. Предложена методика оптимизации проектных параметров воздушного винта с учетом ограничений, накладываемых электроприводом и аккумуляторной батареей совместно с контроллером.

Актуальность темы диссертации

В настоящее время ЭБПЛА военного и гражданского назначения успешно конкурируют в решении различных задач с БПЛА с ДВС. Опытные конструкторские коллективы работают над созданием аэротакси в виде экспериментальных летательных аппаратов электрического типа.

В свете последних событий оказалось, что для успешного развития государства в настоящее время необходимо иметь в эксплуатации широкий модельный ряд БПЛА, начиная от игрушечных экземпляров и до промышленных образцов. Они оказались жизненно необходимыми для успешного решения задач патрулирования и доставки грузов различного назначения.

Но, несмотря на бурное развитие беспилотных технологий, остается совершенно не исследованной проблема достижения максимально возможного качества ЭБПЛА на данном этапе развития электрических двигателей и источников электрической энергии. Например, задача проектирования воздушного винта для данного электрического двигателя даже не ставилась, производители электрических двигателей даже не предоставляют характеристик, позволяющих спроектировать оптимальный для данного двигателя воздушный винт. Воздушные винты производятся сериями без обеспечения, каких-либо требований к геометрическим характеристикам лопастей существенно влияющих на аэродинамическое качество и КПД винтов. Аэродинамические характеристики винтов не предоставляются. Неизвестно, с каким КПД летают применяемые в

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«5» 12 2023

настоящее время БПЛА, как влияют технология и качество изготовления винтов на аэродинамические и летно-технические характеристики аппарата, к каким потерям заряда аккумуляторной батареи приводит взаимное влияние винта и самолета, что нужно сделать для уменьшения шума воздушного винта и электрического двигателя.

Вышесказанное подчеркивает научную и практическую актуальность данного диссертационного исследования.

Считаю, что диссертационная работа Луханина В.А. вносит вклад в решение вышеуказанных задач, важных для целого ряда современных технологий, в том числе двойного назначения.

Новизна научных результатов

Перечень новых научных результатов, полученных автором, довольно широк. С точки зрения оппонента наиболее важным и принципиальным является симбиоз винта с электрическим двигателем, работающим от аккумуляторной батареи. Автору удалось так оптимизировать воздушный винт фиксированного шага (ВФШ), что расчетная скорость БПЛА «возросла» с 164 км/ч у прототипа до 204 км/ч только за счет «правильной» аэродинамической компоновки с учетом утолщения задней кромки винта и с учетом оптимального отбора энергии от электродвигателя и аккумуляторной батареи. Показано, что применение на БПЛА с электроприводом винта изменяемого шага (ВИШ) может существенно улучшить его летно-технические и взлетно-посадочные характеристики. Судя по представленному анализу публикаций, работы в данном направлении в открытой печати практически отсутствуют.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования

Впервые разработаны быстродействующие проектировочные методики аэродинамического расчета воздушного винта с производственными отклонениями от теоретического контура и получены формулы для ограничений нагрузочных характеристик электродвигателей по силе тока и аккумуляторной батареи по напряжению. Практически реализован алгоритм (процесс) проектирования воздушного винта под заданный двигатель и источник напряжения с учетом эксплуатационных ограничений. Полученные автором результаты могут быть внедрены на предприятиях, выпускающих ЭБПЛА для существенного повышения потребительских качеств изделий.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников (122 наименований), изложена на 138 страницах, содержит 51 рисунок, 5 таблиц.

Во введении диссертантом обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследований. Показана научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, перечислены положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит обзор существующих теорий воздушного винта. Описаны методики расчета индуктивных скоростей в расчетных сечениях лопасти по дисковой и лопастной вихревым моделям. Обосновано применение *CFD*-моделей для коррекции аэродинамических характеристик профилей. Разработана имитационная модель расчета аэродинамических характеристик лопасти с увеличенной относительной толщиной профиля и его задней кромки относительно исходной геометрии, связанной с особенностями технологии изготовления винтов. Показано, что предлагаемая корректировка аэродинамических коэффициентов приводит к значительному увеличению точности расчета характеристик конкретного воздушного винта.

Во второй главе рассмотрена разработанная автором математическая модель электропривода с питанием от аккумуляторных батарей. Определен потребный крутящий момент двигателя с учетом КПД контроллера при работе совместно с воздушным винтом. Приведены экспериментальные и расчетные зависимости силы тока от оборотов воздушного винта. Получены формулы для расчета основных параметров аккумуляторной батареи, необходимые для расчета характеристик движителя ЭБПЛА.

В третьей главе работы представлена методика оптимизации проектных параметров движителя ЭБПЛА. Описан процесс проектирования силовой установки при заданных параметрах планера летательного аппарата. Он заключается в выборе двигателя из возможного ряда существующих на рынке и последующего выбора конструкции, материала и технологии изготовления воздушного винта с уточнением его геометрии в пределах ограничений, накладываемых характеристиками силовой установки. Решение об окончании процесса оптимизации принимается по результатам обеспечения требований ТЗ на разработку ЭБПЛА. Ключевым в данной главе является процесс оптимизации параметров воздушного винта с учетом ограничений по нагрузочным характеристикам электродвигателя и аккумуляторной батареи с целью достижения экстремума целевой функции: максимальной скорости горизонтального полета. Приведен пример оптимизации проектных параметров воздушного винта реально

существующего ЭБПЛА-перехватчика вертикального взлета и посадки. Показано, что при использовании ВИШ вместо ВФШ можно существенно увеличить максимальную скорость горизонтального полета.

В четвертой главе автором диссертации рассмотрены различные технологии изготовления экспериментальных и серийных воздушных винтов, их особенности и погрешности геометрии в зависимости от технологического процесса. Показано изменение аэродинамических характеристик винта в зависимости от толщины задней кромки лопасти.

В пятой главе приведены методика и результаты испытаний электроприводов для определения характеристик электродвигателя с использованием специально разработанной загрузочной крыльчатки. Приведены расчетные и экспериментальные характеристики крутящего момента от силы тока в обмотке двигателя. Описаны подходы к испытаниям воздушных винтов в аэродинамической трубе и на подвижном стенде.

В заключении работы приведены четко сформулированные выводы, достаточно убедительно обоснованные в диссертационной работе.

Замечания по работе

По содержанию работы имеются ряд замечаний, которые возникли у оппонента в силу некоторых недостатков работы:

1. В работе для расчета индуктивных скоростей применялись линейные теории винта, что может внести погрешности даже в проектировочные методики расчета.
2. 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.
3. Остался открытым вопрос изменения коэффициента аэродинамического момента профиля в зависимости от толщины задней кромки лопасти, который возникнет при определении проектных параметров ВИШ.
4. В описании методики испытаний воздушных винтов (глава 5) не приведен полный перечень характеристик винтомоторной группы, который необходим для программы оптимизации параметров винта.
5. В диссертации имеется ряд опечаток, грамматических ошибок (лишние запятые или отсутствие запятых, неправильные окончания слов).

В целом, несмотря на имеющиеся погрешности, работа представляет серьезное и обширное научное исследование, выполненное на хорошем научном уровне. Практически все полученные результаты являются новыми.

Результаты диссертации достаточно полно опубликованы в ведущих научных журналах и изданиях (всего 8 печатных научных работ, в том числе 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК для рассматриваемой научной специальности).

Результаты исследований апробированы на профильных конференциях (5 докладов на международных конференциях).

Содержание автореферата и сформулированные в нем выводы полностью соответствуют представленным в диссертации результатам исследований. Публикации также отражают основные положения диссертации. У оппонента нет сомнения в соответствии представленной диссертации требованиям ВАК к кандидатским диссертациям.

Заключение

Тема диссертации соответствует указанной по специальности 2.5.13 «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов» и включает в себя востребованные в настоящее время методики и подходы к оптимальному проектированию современных ЭБПЛА.

Автор предлагает автоматизировать процесс проектирования, применяя современные достижения теории винтов, CFD-моделирования на базе экспериментального определения характеристик и ограничений по силе тока и напряжению, налагаемых на электроустановки по критерию безотказной работы.

Таким образом, данная диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержатся методики решения задач, имеющих большое значение для развития беспилотной авиации в области применения электрических двигателей с питанием от аккумуляторных батарей.

Диссертационная работа Луханина Владимира Олеговича на тему: «Методика проектирования электроприводных воздушных винтов беспилотных летательных аппаратов с учетом технологии изготовления и стендовых испытаний» соответствует всем требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Считаю, что ее автор Луханин Владимир Олегович, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.5.13 «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов».

Официальный оппонент,
кандидат технических наук
(05.07.03 – Прочность летательных
аппаратов»),
АО «Казанский вертолетный завод»
начальник отдела прочности
и аэродинамики

Е.И. Николаев

«29» ноября 2023 г.

Адрес электронной почты: nikolaev_ei@kazanhelicopters.com
Телефоны: 8(843)549-66-99, 8(917)273-49-19

Полное наименование организации:
Акционерное общество «Казанский вертолетный завод» (АО «Казанский
вертолетный завод»)
Почтовый адрес организации: 420085 Россия, г.Казань, Республика
Татарстан, ул. Тэцевская, 14
Адрес официального сайта организации в сети «Интернет»:
www.russianhelicopters.aero
Адрес электронной почты: kvz@kazanhelicopters.com
Телефон: 8(843)549-66-99; Факс: 8(843)549-65-21

Подпись Николаева Евгения Ивановича удостоверяю:

*начальника отдела
учета персонала и
орг. документооборота*



С отзывом ознакомлен
5.12.2023