

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: 24.2.327.06

Соискатель: Боровиков Дмитрий Александрович

Тема диссертации: Методика определения оптимального облика гибридных силовых установок с воздушным винтом в системе летательного аппарата

Специальность: 2.5.15. — «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации.

На заседании 28 декабря 2022 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, приведенным в "Положении о присуждении ученых степеней", утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, и принял решение присудить Боровикову Дмитрию Александровичу ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: председатель диссертационного совета Равикович Ю.А., ученый секретарь диссертационного совета Краев В.М., члены диссертационного совета: Агульник А.Б., Абашев В.М., Демидов А.С., Кочетков Ю.М., Лесневский Л.Н., Марчуков Е.Ю., Молчанов А.М., Мякочин А.С., Надирадзе А.Б., Назаренко И.П., Ненарокомов А.В., Никитин П.В., Попов Г.А., Силюянова М.В., Тимушев С.Ф., Хартов С.А.

Ученый секретарь диссертационного совета
24.2.327.06, д.т.н., доцент

Краев В.М.

Начальник УДС МАИ

Т.А. А...



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.06,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 28.12.2022 г. № 31

О присуждении Боровикову Дмитрию Александровичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Методика определения оптимального облика гибридных силовых установок с воздушным винтом в системе летательного аппарата» по специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» принята к защите 26.10.2022 г., (протокол заседания № 14) диссертационным советом 24.2.327.06, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»; 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4; приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации о создании диссертационного совета – №669/нк от 24.06.2022 г.

Соискатель Боровиков Дмитрий Александрович 28 июня 1994 года рождения. В 2017 г. окончил ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей». С 2017 по 2021 год проходил обучение в аспирантуре ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по направлению

24.06.01 Авиационная и ракетно-космическая техника (диплом об окончании аспирантуры 107718 1244197).

В период подготовки диссертации соискатель Боровиков Дмитрий Александрович работал в ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» в должностях ассистента, ст. преподавателя кафедры 205 «Технология производства двигателей летательных аппаратов», ассистента, ст. преподавателя кафедры 202 «Ракетные двигатели», инженера НИО – 201 и м.н.с. НИО – 202, а также работал в федеральном казенном предприятии «Государственный казенный научно-испытательный полигон авиационных систем имени Л.К.Сафронова» в должности научного сотрудника по совместительству.

Диссертация «Методика определения оптимального облика гибридных силовых установок с воздушным винтом в системе летательного аппарата» выполнена в ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» на кафедре 201 «Теория воздушно-реактивных двигателей».

Научный руководитель – доктор технических наук, с.н.с. Агульник Алексей Борисович, заведующий кафедры 201 «Теория воздушно-реактивных двигателей» ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

Богданов Василий Иванович, доктор технических наук, публичное акционерное общество «ОДК-Сатурн», эксперт;

Рябов Павел Александрович, кандидат технических наук, государственный научный центр, федеральное автономное учреждение «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова», ведущий научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации (г. Воронеж), в своём положительном отзыве, подписанном Черкасовым А. Н., кандидатом технических наук, доцентом, начальником кафедры авиационных двигателей; Аксеновым С. П., доктором технических наук, профессором, профессором кафедры авиационных двигателей; Пахольченко А. А., кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником, профессором кафедры авиационных двигателей; Зиненковым Ю. В., кандидатом технических наук, докторантом кафедры авиационных двигателей и утвержденном Казаковым В. Г., заместителем начальника «Военного учебно-научного центра военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» по учебной и научной работе, указала, что значимость полученных автором диссертации результатов для развития соответствующей отрасли науки заключается в разработке методики определения оптимального облика гибридных силовых установок с воздушным винтом в системе летательного аппарата. Практическая ценность результатов работы заключается в возможности использовать в конструкторских бюро и научно-исследовательских организациях: предложенное определение множества полетных задач для применения гибридных силовых установок при выборе наиболее подходящего типа силовой установки на начальных этапах проектирования летательного аппарата; предложенную постановку задачи оптимизации для поиска оптимальных параметров гибридных силовых установок в системе летательного аппарата по критериям высокого уровня; разработанную имитационную модель гибридной силовой установки на базе турбовинтового двигателя в системе летательного аппарата для определения технических характеристик летательного аппарата и эффективности

выполнения поставленных полетных задач. Диссертационная работа Боровикова Дмитрия Александровича представляет собой завершённую научно-квалификационную работу. Работа выполнена на достаточно высоком научно-техническом уровне. Автореферат по содержанию и структуре изложения в полном объеме отражает содержание диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в трех статьях в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, и одной статье в зарубежном издании, индексируемом в базе данных Scopus. Научные положения и результаты, выносимые на защиту полностью отражены в работе и публикациях и соответствуют паспорту научной специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов». Несмотря на отмеченные замечания, диссертационная работа по содержанию, научному уровню, полученным результатам, актуальности, практической и теоретической значимости соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (в редакции Постановлением Правительства Российской Федерации от 21.04.2016 №335), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Боровиков Дмитрий Александрович, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Соискатель имеет 52 опубликованных работы, из которых 13 по теме диссертации, общим объемом 14,4 п.л. Из 13 опубликованных работ по теме диссертации: 4 – статьи в научных журналах из списка ВАК или в журналах, входящих в системы цитирования Scopus, 9 – тезисы докладов на конференциях. Четыре работы написаны автором самостоятельно, остальные в соавторстве.

Научные работы соискателя посвящены: математическому моделированию авиационных и ракетных двигателей различных схем, преимущественно рассматриваются гибридные, комбинированные и малоразмерные двигатели, в том числе в системе летательного аппарата; математическому моделированию тепломассообмена в узлах авиационных и ракетных двигателей; созданию методик и программного обеспечения автоматизированного проектирования компрессоров газотурбинных двигателей.

Личный вклад автора заключается в: разработке методики выбора оптимальных параметров гибридной силовой установки с воздушным винтом в системе летательного аппарата; определении аналитических зависимостей для области применения гибридных двигателей и ограничений на их параметры при решении задачи оптимизации; построении имитационной математической модели гибридной силовой установки в системе летательного аппарата и валидации ее частей; проведении расчетов и анализе его результатов.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах.

Наиболее значимые работы:

1. Боровиков, Д. А. Определение области рационального применения и постановка задачи оптимизации гибридных двигателей на базе ТВД для региональных самолетов / Д. А. Боровиков // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П. А. Соловьева. – 2021. – № 4(59). – С. 15-22.

2. Mathematical modelling of a gas turbine engine based hybrid propulsion system for regional airplanes / Y. A. Ravikovich, A. B. Agulnik, D. P. Kholobtsev, D. A. Borovikov // Journal of Physics: Conference Series, Moscow, 18–21 мая 2021 года. – Moscow, 2021. – P. 012001. – DOI 10.1088/1742-6596/1891/1/012001.

3. Разработка и анализ характеристик двухконтурного малоразмерного воздушно-реактивного двигателя / И. Н. Боровик, Д. А. Боровиков, А. В. Ионов, С. Е. Тезиков // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П. А. Соловьева. – 2019. – № 3(50). – С. 15-23.

4. Разработка методики и программного обеспечения сквозного проектирования малоразмерных воздушно-реактивных двигателей / Д. А. Боровиков, И. Н. Боровик, А. В. Ионов, А. К. Минин // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П. А. Соловьева. – 2019. – № 4(51). – С. 14-20. – EDN AЕНАQA.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы (все отзывы положительные).

Отзыв на диссертацию официального оппонента Богданова В.И., доктора технических наук, содержит замечания:

1. Нет обоснований и ссылок по используемым формулам. Ссылки заканчиваются на стр. 26

2. В формулах для определения подъемной силы и силы сопротивления летательного аппарата обычно используется площадь крыла, а не миделя. Принятая площадь для миделя явно завышена, а для крыла мала.

3. Нет экспериментальных данных. Соискателю, по крайней мере, нужно было корректно привязаться к существующим данным.

4. Используются два понятия имитационной и математической модели, не отмечены различия. Валидация проведена только для ГТД.

5. Насколько корректно применены понятия «впервые в мире», «впервые в России», в автореферате часть убрана.

6. Целесообразна и коммерческая оценка, с учетом зарядки АКБ от аэродромных источников.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Рябова П.А., кандидата технических наук, содержит замечания:

1. Результаты тестирования ММ ТВД представлены только с двигателем ВК-800.

2. Не приведено описание влияния изменения параметров полета и параметров самолета на режимы работы воздушного винта.

3. Результаты проведенного исследования не учитывают необходимость переразмеривания ГСУ для выполнения предъявляемых к самолету дополнительных требований, например, по безопасности полета, шуму на местности, динамике взлета и набора высоты.

4. Оптимизация с целью минимизации расхода топлива ГСУ с аккумуляторной батареей не дает полного представления о затратах на перелет.

Отзыв на диссертацию ведущей организации – Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»

содержит замечания:

1. В математической модели электрической части нет модели электропроводки. Известно, что электропроводка имеет свой вес, сопротивление, тепловые потери, поэтому ее следует учесть, при расчете электрической части гибридной силовой установки.

2. Решение задачи оптимизации не описано на физическом уровне. Также не описано, какой метод оптимизации использовался, какие параметры варьировались и в каких диапазонах. При описании результатов оптимизации автор не уделил внимание анализу поиска решения и недостаточно корректно их структурировал.

3. Не все методологические характеристики работы сформулированы в ее тексте. При декомпозиции цели работы, отсутствует задача по разработке методики, при этом в работе она решена.

4. В работе нет ссылок на источники используемых автором формул.
5. Читаемость работы значительно усложнена, что обусловлено использованием автором в формулах обозначений параметров рабочего процесса двигателя, аэродинамики и динамики полета, принятых как в авиационной и ракетной отраслях, так в зарубежной и отечественной литературе.
6. По тексту диссертации имеются опечатки, неточности в описании формул и рисунков, некорректно используются принятые сокращения.
7. На странице 27 автор пишет: «В качестве источника энергии для гибридной силовой установки может использоваться АКБ или топливный элемент». Правильнее топливный элемент в системе гибридной силовой установки рассматривать не источником энергии, а устройством преобразования энергии топлива в электрический ток. При этом источником энергии для гибридной силовой установки следует считать топливо для этого топливного элемента.
8. На странице 34 автор пишет: «электродвигатель сможет создать достаточную подъемную силу», что является неверным, так как электродвигатель не может создавать подъемную силу в принципе.
9. Рисунки 13-16 и 21-26 неверно подписаны.
10. В формуле (13) ошибка, надо разделить выражение на скорость чтобы получить G_T в кг. Параметр G_T – автор определяет как расход топлива за полетный цикл, выраженный в кг. Правильнее определить этот параметр как массу топлива, затраченную в полетном цикле.
11. На странице 38 автор пишет «Скорость полета слабо влияет на максимальную дальность полета с гибридной силовой установкой». Это утверждение может быть справедливо только для некоторого диапазоне скоростей.
12. В формуле (29) опечатка, расход воздуха определяется полными параметрами, а не статическими.

13. Определение, данное автором на стр. 50: «Степень повышения полного давления рассчитывается как отношение выходного давления ко входному», неверно. Степень повышения полного давления рассчитывается как отношение полного выходного давления к полному входному.

14. Неверное описание формулы (94) «Расход топлива определяется, как сумма расходов всех силовых установок». Силовая установка на самолете одна, при этом может состоять из нескольких двигателей. Следовательно $C_{уд*i*}$ – это удельный расход топлива i -го двигателя, а не i -той силовой установки.

15. Вывод, сделанный автором на стр. 86 о том, что на участке набора скорости потребная мощность ГТД в составе гибридной силовой установки оказывается выше за счет большей массы летательного аппарата неверен, так как масса летательного аппарата с гибридной силовой установкой больше массы летательного аппарата с ГТД не только на участке набора скорости, а на протяжении всего полета.

Отзыв на автореферат диссертации, составленный кандидатом технических наук, доцентом кафедры «Газотурбинные двигатели и комбинированные установки» Новицким Б.Б. ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» содержит замечания:

1. В тексте автореферата не указано, учитывается ли при расчетах вес управляющей электроники и дополнительных систем, связанных с наличием на борту электродвигателя и аккумуляторов.

2. Из текста автореферата не ясно, в каком программном пакете реализовывалась представленная математическая модель.

3. На рис. 10 график изменения КПД для программы управления 2 от времени полета невозможно прочитать, а на рис. 11 график удельного расхода топлива от времени полета для программы управления 2 отсутствует.

Отзыв на автореферат диссертации опытно-конструкторского бюро имени А. Люльки, составленный кандидатом технических наук, ведущим

конструктором Отдела Перспективных разработок Брыкиным Борисом Витальевичем и утвержденный генеральным конструктором – директором ОКБ им. А. Люльки доктором технических наук, профессором, член-корреспондентом РАН Марчуковым Е. Ю. содержит замечания:

1. В аналитической зависимости не учитываются особенности участка набора скорости на ВВП, набора высоты и снижения летательного аппарата.

2. Из текста автореферата не ясно в какой программной среде подготовлена предложенная автором имитационная модель.

3. В имитационной модели отсутствуют уравнения теплообмена, которые могли бы учитывать влияние нагрева и охлаждения на эффективность работы электрических машин.

Отзыв на автореферат диссертации опытно-конструкторского бюро Сухого, составленный заместителем директора ОКБ Сухого по перспективным проектам Попиком В.Н., Начальником отдела 9 Пудовкиным И.Ю., Начальником ОтПП, кандидатом технических наук Кузьмичевым Р.В. и утвержденный первым заместителем управляющего директора – директором ОКБ Сухого Стрельцом М.Ю. содержит замечания:

1. Грузоподъемность модификации самолета Cessna 208В с двигателями РТ6А-114А и РТ6А-140 составляет 1500-1800 кг. Масса полезной нагрузки самолета Cessna 208В с силовой установкой ВК-800, приведенная в табл. 2 автореферата, составляет 500 кг. При этом масса, привносимая на борт по результатам оптимизационного расчета ГСУ (табл. 3): АКБ – 1200...1250 кг., электродвигатель – 90...160 кг. Насколько эффективно применение ГСУ для самолетов такого класса?

2. В ходе исследований установлена необходимость варьирования мощности электродвигателя во время полета и найдены оптимальные законы управления. Однако из автореферата не понятно, каким образом

предполагается конструктивно реализовать это управление. В виде отдельного блока управления? Какова его масса? Учтена ли она в общей массе ГСУ?

Отзыв на автореферат диссертации, составленный доктором технических наук, профессором, профессором кафедры теории двигателей летательных аппаратов Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, Григорьевым В.А. содержит замечания:

1. В тексте используется несистемный термин «вес ЛА», на одной странице (19), используются термины электромотор и электродвигатель;
2. на стр. 19 и 23 использован термин «критерий оптимальности», причем в качестве такого назван опять же «максимально допустимый вес»;
3. зачем на рис. (стр. 11) для формирования линии границы множества ЛА с ГТД используется на горизонтальной оси – удельная энергоёмкость АКБ? Как их вообще можно связать?;
4. выбранная цель работы – разработка методики определения оптимального облика ГСУ все-таки ближе к задачам, было бы целесообразно в качестве цели выбрать улучшение каких-либо показателей ЛА с помощью разработанных методов; тем более, что в «результате исследования» достижение выбранной цели (в явном виде) и не упоминается.

Отзыв на автореферат диссертации, составленный доктором технических наук, старшим научным сотрудником, профессором кафедры авиационных двигателей Уфимского университета науки и технологий Горюновым И.М. содержит замечания:

1. Автор указывает в качестве преимуществ гибридных силовых установок снижение уровня шума и более высокую надежность, но не рассматривает эти вопросы.
2. Решение задачи оптимизации продемонстрировано только на примере трех полётных циклов.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в отрасли науки, к которой относится диссертационная работа Боровикова Д.А., что подтверждается их научными публикациями в данной области.

Выбор Богданова В.И., доктора технических наук, эксперта, обосновывается его большим опытом в области концептуальной проработки перспективных двигателей. Его работы посвящены проблемам проектирования газотурбинных двигателей и проработке концепций двигателей перспективных схем

Выбор Рябова П.А., кандидата технических наук, ведущего научного сотрудника, обосновывается его широкой компетентностью в вопросах гибридных двигателей, а также в задачах выбора рациональных параметров и технического облика двигателей для применения на летательных аппаратах различного назначения. Рябов П.А. регулярно публикует статьи по тематике диссертации в рецензируемых журналах, а также защитил диссертацию кандидата технических наук «Методика междисциплинарной оценки эффективности применения маршевых гибридных газотурбинных двигателей магистрального самолета».

Ведущая организация Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации выбрана в соответствии с её высоким уровнем достижений в области оценки эффективности применения силовых установок в системе летательного аппарата, решении задач математического моделирования и оптимизации авиационных двигателей. Коллектив кафедры авиационных двигателей имеет большое количество трудов в рецензируемых научных журналах. Специалисты ведущей организации обладают большим опытом решения задач математического моделирования и выбора

оптимальных параметров суслевой установки в системе летательного аппарата.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- аналитически определена область применения гибридных силовых установок, выполнено параметрическое исследование области применения гибридных силовых установок;
- аналитически определены ограничения на облик гибридной силовой установки и поставлена задача оптимизации гибридной силовой установки в системе летательного аппарата;
- разработана имитационная математическая модель гибридной силовой установки в системе летательного аппарата;
- с использованием разработанной методики решена задача определения оптимальных параметров гибридной силовой установки с параметрами турбовального двигателя ВК-800 для самолета Cessna 208В.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- разработана методика определения оптимального облика гибридных силовых установок с воздушным винтом в системе летательного аппарата.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- предложенное определение множества полетных задач для применения гибридных силовых установок может использоваться при выборе наиболее подходящего типа силовой установки на начальных этапах проектирования летательного аппарата;
- предложенная постановка задачи оптимизации может использоваться для поиска оптимальных параметров гибридных силовых установок в системе летательного аппарата;
- разработанная имитационная модель гибридной силовой установки на базе турбовинтового двигателя в системе летательного аппарата может

использоваться для определения технических характеристик летательного аппарата и эффективности выполнения поставленных полетных задач.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- математическая модель базируется на фундаментальных уравнениях термодинамики, гидрогазодинамики, электротехники и теоретической механики.

Личный вклад соискателя состоит в:

- разработке методики выбора оптимальных параметров гибридной силовой установки с воздушным винтом в системе летательного аппарата;
- определении аналитических зависимостей для области применения гибридных двигателей;
- аналитическом определении ограничений на параметры гибридных двигателей при решении задачи оптимизации;
- построении имитационной математической модели гибридной силовой установки в системе летательного аппарата и валидации ее частей;
- проведении расчетов и анализе их результатов.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний, которые бы ставили под сомнение обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизну. Соискатель Боровиков Д.А. ответил обстоятельно и аргументированно на все задаваемые ему в ходе заседания вопросы.

На заседании 28.12.2022 г. диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи методики выбора оптимальных параметров гибридной силовой установки с воздушным винтом в системе летательного аппарата, имеющей значение для развития авиационно-космической техники, присудить Боровикову Д.А. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 11 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек,

ВХОДЯЩИХ в состав совета, проголосовали: за - 18, против - нет,
недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета 24.2.327.06

д. техн. наук, профессор

Равикович Юрий Александрович

Учёный секретарь

диссертационного совета 24.2.327.06

д. техн. наук, доцент

Краев Вячеслав Михайлович

28 декабря 2022 г.