

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук Зиненкова Юрия Владимировича на диссертацию Рябова Павла Александровича «Методика многодисциплинарной оценки эффективности применения маршевых гибридных газотурбинных двигателей магистрального самолета», представленную в диссертационный совет Д 212.125.08 на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

Актуальность темы исследования

В настоящее время ежегодно увеличивается количество зарубежных работ с результатами исследований эффективности новых типов двигателей – гибридных ГТД на летательных аппаратах. Ведущие зарубежные авиастроительные и двигателестроительные фирмы инициировали финансирование разработок концепт-проектов перспективных пассажирских «зеленых» самолетов и полноразмерных демонстраторов критических элементов гибридных силовых установок, в том числе на базе гибридных ГТД.

Представленный автором анализ зарубежных работ в области гибридных силовых установок для магистральных самолетов показал, что ожидаемым преимуществом гибридных схем ГТД по отношению к традиционным ТРДД должны стать: снижение потребляемой энергии за полет и улучшение таких показателей самолетов как топливная эффективность, эмиссия вредных веществ, в том числе за счет применения альтернативных топлив.

В связи с этим работа автора по разработке расчетной методики и математической модели для комплексной многодисциплинарной оценки показателей эффективности малоизученного гибридного ГТД различных схем и поколений в составе маршевых силовых установок пассажирских магистральных самолетов крайне актуальна.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность и обоснованность полученных результатов автор подтверждает:

- использованием при разработке комплекса математических моделей в качестве основы положений теории воздушно-реактивных двигателей, электротехники и электрофизики, аэродинамики и динамики полёта летательных аппаратов, прочности, авиационной акустики, а также разработанных ранее в Центральном институте авиационного моторостроения

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«22 09 2021 г.»

им. П.И. Баранова (ЦИАМ) математических моделей, достоверность которых подтверждена в ходе экспериментальных исследований;

- сравнением характеристик ряда серийных двигателей и самолетов, рассчитанных с использованием разработанного комплекса математических моделей, с расчетно-экспериментальными характеристиками этих объектов, полученных их разработчиками;

- использованием опубликованных и обоснованных специалистами-экспертами ЦИАМ, Центрального аэрогидродинамического института им. Н.Е. Жуковского (ЦАГИ) и других научных организаций прогнозных данных по развитию технологий создания ГТД, электродвигателей, топливных элементов, улучшению аэродинамики и весового совершенства магистральных самолетов, снижению шума маршевых силовых установок;

- сравнением полученных результатов с результатами расчетных исследований, выполненных другими авторами;

- результатами неоднократного обсуждения положений и выводов по итогам работы на отраслевых совещаниях с участием специалистов-экспертов, отечественных и международных научно-технических конференциях.

Основные результаты диссертации опубликованы в 17 печатных работах, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 работ, 4 из которых индексируются международной базой данных «SCOPUS». Получен 1 патент на изобретение и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Результаты диссертационного исследования, выносимые на защиту, неоднократно докладывались на отечественных и международных научно-технических конференциях и семинарах, отмечались и занимали призовые места в ежегодном конкурсе лучших научно-исследовательских работ ЦИАМ.

Научная новизна

Научная новизна диссертационного исследования заключается в разработке методики и комплекса математических моделей для многодисциплинарной оценки эффективности маршевых гибридных ГТД в составе силовой установки магистрального самолета по самолетным критериям. Выполнена оценка экономичности силовой установки на базе трёх альтернативных схем гибридных ГТД и бортовой энергоустановки на основе твердооксидных топливных элементов при использовании четырех видов топлива: керосина, пропан-бутана, метана, водорода. Автором впервые получены и представлены результаты комплексной сравнительной оценки эффективности применения одно- и двухтопливной гибридной маршевой силовой установки с различными топливами. С использованием разработанной

методики и комплекса математических моделей показана эффективность схемы гибридного ГТД, на которую получен патент Российской Федерации.

Практическая значимость

Результаты диссертационного исследования имеют практическую значимость, так как разработанная методика и многодисциплинарная математическая модель позволяют оперативно проводить параметрические исследования по оценке эффективности маршевых гибридных ГТД в рамках научно-прикладных задач и учебных процессов. Полученные рациональные параметры и область эффективного применения маршевых гибридных ГТД и элементов силовой установки одно- и двухтопливного самолетов являются начальным приближением для дальнейших исследований по уточнению проектных параметров и критических технологий перспективных магистральных самолетов с гибридными силовыми установками. Получен Патент Российской Федерации на схему гибридного ГТД, эффективность которой была показана с использованием разработанной методики и комплекса математических моделей. Получено авторское свидетельство на расчетный модуль для ЭВМ. Практическая значимость проведенной работы также подтверждается применением представленной методики и математических моделей в ЦИАМ при выполнении тематических научно-исследовательских работ и актом о внедрении результатов этих работ в практику ЦАГИ.

Соответствие паспорту специальности

Содержание диссертации Рябова П.А. соответствует паспорту специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» по пунктам:

1. «Теория и рабочий процесс тепловых и электроракетных двигателей летательных аппаратов, а также, энергетических установок, узлов и систем, включая элементы силовой установки, сопряженные с двигателем. Оптимизация схем и параметров двигателей»;

3. «Источники энергии тепловых и электроракетных двигателей летательных аппаратов, анализ их эффективности и способов реализации энергии (тепла) в цикле».

5. «Методы оптимального согласования параметров и характеристик системы «силовая установка – летательный аппарат» и анализ ее эффективности»;

13. «Математическое моделирование рабочих процессов, характеристик, динамических процессов, рабочих состояний двигателей и энергетических установок, методы их проектирования и конструирования применительно к

системам автоматизированного проектирования. Математическое моделирование этапов жизненного цикла (создания, производства и эксплуатации двигателей и установок)»;

16. «Методы расчетов воздействия тепловых и электроракетных двигателей на окружающую среду и анализ путей его уменьшения»;

17. «Прогнозирование развития конструкции, технологии производства, формирование перспективных уровней электродинамического, термодинамического и эксплуатационно-технологического совершенства двигателей летательных аппаратов и их агрегатов, а также технико-экономических процессов их создания, производства и эксплуатации. Математические основы формирования требований к перспективным двигателям и энергетическим установкам летательных аппаратов».

Структура и содержание работы

Диссертационная работа Рябова П.А. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 111 наименований, изложена на 139 страницах машинописного текста, включает 52 иллюстрации и 34 таблицы.

Во введении автором дано обоснование актуальности темы исследования и определение рассматриваемого объекта – маршевого гибридного ГТД, представлена общая характеристика работы: цель и задачи исследования, научная новизна, степень разработанности темы диссертации, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, достоверность исследования, представлена информация по апробации результатов, указано отличие диссертационной работы от проводимых ранее исследований, отмечены соавторы работы и обозначена степень участия автора в разработке составляющих многодисциплинарной методики.

Первая глава посвящена анализу рассмотренных автором зарубежных и отечественных комплексных методик многодисциплинарной оценки эффективности маршевых гибридных силовых установок магистральных самолетов. Автором предложена и описана четырех-уровневая систематизация комплексности исследований по оценке эффективности гибридных силовых установок. На основании представленного анализа и практики проведения в ЦИАМ аналогичных исследований по многодисциплинарной оценке эффективности традиционных схем маршевых силовых установок в главе автором ставится задача проведения диссертационного исследования. Дано описание выбора объекта исследования – гибридного ГТД с энергоустановкой

на твердооксидных топливных элементах в составе силовой установки магистрального самолета, и оцениваемых в работе самолетных критериев эффективности (взлетная масса, длина ВПП, топливная эффективность, стоимость топлива за полет, эмиссия вредных веществ, шум самолета на местности). Для работы силовой установки в качестве основного топлива автором рассматриваются керосин, пропан-бутан, метан, водород и их сочетания. Дается определение одно- и двухтопливного самолета и гибридной силовой установки. Сформулированы принципы работы энергоустановки на расчетном и нерасчетных режимах. Определены параметры перспективного ближне- среднемагистрального самолета, позволяющие оценить потребный уровень крейсерской и взлетной тяг его силовой установки.

Для решения поставленных задач диссертационного исследования в работе автором предложен двухэтапный подход. Первый этап предполагает предварительный отбор рациональных схем гибридных ГТД. Второй этап предполагает комплексную оценку и сравнение показателей эффективности магистральных самолетов с гибридным ГТД. На каждом этапе, сравнение показателей эффективности проводится по отношению к базовому ТРДД.

Во второй главе представлено описание разработанной автором схемы методики и комплекса математических моделей для междисциплинарной оценки эффективности маршевого гибридного ГТД в составе силовой установки по самолетным критериям. Дано краткое содержание расчетных методик и структуры самостоятельных расчетных модулей оценки показателей эффективности силовой установки, таких как взлетная масса, длина ВПП, топливная эффективность, стоимость топлива за полет, эмиссия вредных веществ, шум самолета на местности, а также соотношения для их оценки. Автором отмечены основные отличия предлагаемых расчетных алгоритмов относительно традиционных методик, на которые ссылается автор. Указан уровень точности используемых математических моделей, который считается достаточным для решения задач диссертационного исследования. Основные особенности разработанной автором методики следующие.

Оценка дальности и топливной эффективности полета одно- и двухтопливных самолетов включает:

- расчет массы элементов и эквивалентного расхода топлива гибридной силовой установки с энергоустановкой на основе твердооксидных топливных элементов или аккумуляторных батарей;

- расчет массы, габаритов и места расположения топливных баков для хранения газового и криогенного топлива;

- расчет массы криогенной топливной системы;
- расчет дополнительного сопротивления планера от интеграции топливных баков с газовым топливом на летательном аппарате.

Разработанные автором математические модели для оценки взлетно-посадочных характеристик, эмиссии NO_x , CO_2 , а также глубоко модернизированная автором математическая модель для оценки шума самолета на местности учитывают требования экологических стандартов ИКАО, норм летной годности и эксплуатационных ограничений.

Для сравнительной оценки эффективности самолетов с различными вариантам силовых установок и видов топлив автором введен дополнительный критерий – стоимость топлива за полет. Также применен инженерный подход пересчета эмиссии CO_2 по содержанию углерода в топливе по отношению к керосину в случае применения альтернативных топлив или двух топлив.

В третьей главе автор описывает пример по формированию и отбору рациональной схемы гибридного ГТД при использовании керосина и альтернативных газовых топлив. Представлено сравнение достоинств и недостатков рассмотренных трех альтернативных схем гибридных ГТД: ГТД-1 – схемы с подкруткой вала низкого давления электромотором; ГТД-2 – схемы с подкруткой вала высокого давления электромотором; ГТД-3 – схемы с подкруткой вала высокого и вала низкого давления электромоторами. Описан перечень исходных данных, варьируемых параметров и ограничений.

Для определения тягово-экономических характеристик и отбора рациональных схем гибридных ГТД использовалась модифицированная математическая модель термодинамического расчета характеристик ТРДД нулевого уровня ЦИАМ. Характеристики электромотора и энергоустановки определяются их основными прогнозными интегральными показателями – электрической мощностью, коэффициентом полезного действия, удельной массой и удельным объемом.

Представлен ряд графических зависимостей влияния температуры газа, степени повышения давления в вентиляторе и степени двухконтурности на экономичность гибридных ГТД рассматриваемых схем при различных уровнях подведенной электрической мощности к электромотору в крейсерских расчетных условиях с использованием керосина. Автор отмечает, что расчеты проведены с использованием обобщенных характеристик узлов и постоянных значений коэффициентов полезного действия узлов гибридного ГТД. На основании проведенных параметрических исследований гибридного ГТД в системе силовой установки автором произведен отбор рациональной схемы

ГТД-1 (с подкруткой вала низкого давления электромотором) для дальнейших исследований ее эффективности по самолетным критериям. Дополнительным фактором отбора схемы ГТД-1 автором обозначена простота ее реализации. Для этой схемы автором принимается рациональный обоснованный уровень подведенной электрической мощности к валу низкого давления, составляющий ~50 % по отношению к суммарной мощности турбины низкого давления. В главе представлены основные проектные параметры ГТД-1 при использовании керосина, пропан-бутана, метана и водорода.

Четвертая глава посвящена демонстрации и подтверждению работоспособности разработанного комплекса математических моделей на основе анализа полученных с его помощью результатов. Здесь автором перечислены принятые в расчетах основные параметры совершенства силовой установки и самолета, схемы расположения топливных баков для хранения жидкого газового топлива в криогенном состоянии, а также соотношения цен на газовое топливо.

Применительно для одно- и двухтопливного самолета представлены результаты расчетной оценки критериев эффективности магистрального самолета с ГТД-1, показывающие влияние замены силовой установки и замены топлива на оцениваемые в работе летно-технические, экологические и экономические показатели.

Сравнение показателей эффективности наилучших вариантов одно- и двухтопливного самолетов на итоговой гистограмме наглядно демонстрируют возможности расчетного комплекса в части гибкого применения альтернативных топлив и вариантов энергоустановок. На основе полученных данных автором отмечен ряд практических результатов интеграционного характера, показывающий дополнительные резервы по дальнейшему улучшению технических показателей рассмотренных концепций самолетов с гибридным ГТД.

В качестве дополнения приведены примеры сформированных рациональных законов управления силовой установкой с гибридным ГТД по траектории полета, а также представлены потенциально возможные сценарии создания магистрального самолета с альтернативными видами топлив и силовой установкой на основе гибридного ГТД.

В заключении автором подчеркивается, что работа является теоретической, а результаты исследования напрямую зависят от уровня принимаемых проектных параметров совершенства силовой установки и летательного аппарата, прогнозируемых и определяемых специалистами-

экспертами. Здесь приводятся основные выводы и рекомендации по результатам диссертационной работы, и отмечается целесообразность использования представленной комплексной математической модели в программных комплексах оптимизации для исследования эффективности различных схем гибридных ГТД.

Замечания по работе

1. Отсутствует конструктивная проработка элементов гибридного ГТД и энергоустановки, что может снизить достоверность прогнозирования массогабаритных характеристик силовой установки и создать дополнительные технические проблемы при интеграции на летательном аппарате.

2. Автором недостаточно подробно описана работа силовой установки с гибридным ГТД при переходе с крейсерского на взлетный расчетный режим, режимах запуска и останова при эксплуатации, которые будут определять требования к системе автоматического управления силовой установки.

3. При варьировании параметров цикла в широком диапазоне необходимо учитывать изменения коэффициентов полезного действия и конструктивное исполнение узлов газотурбинной части ГТД.

4. Недостаточно обоснован принимаемый для схемы ГТД-1 уровень подведенной мощности 50 % от электромотора.

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы, не снижают научной и практической ценности полученных автором результатов.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным в Положении о присуждении ученых степеней

Диссертация Рябова Павла Александровича является законченной и выполненной самостоятельно научно-квалификационной работой. Автором разработаны новая методика и математическая модель, позволяющие оперативно оценивать эффективность малоизученного гибридного ГТД по комплексу многодисциплинарных критериев в системе силовой установки дозвуковых пассажирских самолетов при использовании традиционного и альтернативных топлив. Тематика и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов». Автореферат и опубликованные работы в полной мере отражают содержание диссертации и полученные автором основные научные результаты.

Диссертация соответствует всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Рябов Павел Александрович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Официальный оппонент,
кандидат технических наук
старший преподаватель кафедры
авиационных двигателей
Военного учебно-научного центра ВВС
«Военно-Воздушная академия имени профессора
Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

«11» августа 2021 г.

Ю.В. Зиненков

Подпись старшего преподавателя Зиненкова Юрия Владимировича ЗАВЕРЯЮ

Помощник начальника строевого отдела ВУНЦ ВВС «ВВА»

«11» августа 2021 г



Саввин А.С.

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» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации (ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»)

Адрес: 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54 «А»

Телефон: +7 (980) 241-27-32

E-mail: yura2105@mail.ru

С отставкой ознакомлен 02.09.2021⁹