

**Отзыв официального оппонента  
на диссертационную работу**

Минина Николая Владимировича

на тему

«Методика выбора проектных параметров комбинированного пульсирующего ВРД со свободнопоршневым нагнетателем для малоразмерных БПЛА», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.07.05 — «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Создание перспективных малоразмерных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) требует решения важных задач повышения эффективности, надежности и ресурса их двигательных установок (ДУ), что может быть обеспечено переходом к использованию комбинированной двигательной установки на основе пульсирующего воздушно-реактивного двигателя (ПуВРД) со свободнопоршневым нагнетателем (СПН).

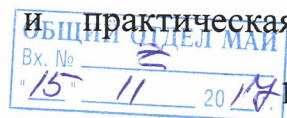
Потребность в создании методики выбора проектных параметров ДУ на основе ПуВРД с СПН для перспективных малоразмерных БПЛА определяет **актуальность избранной темы** диссертационной работы.

Достоверное моделирование рабочего процесса такого типа ДУ даёт возможность отразить реальные физические процессы и проследить за поведением параметров, оказывающих непосредственное влияние на работу двигателя и его агрегатов, повысить эффективность ДУ, надежность и ресурс. Создание методики выбора проектных параметров с подачей рабочего тела с помощью СПН, в качестве двигательной установки для малоразмерных летательных аппаратов различного назначения является целью диссертационной работы.

Для этого необходимо рассмотреть большое число вариантов конструктивного исполнения на этапе первоначального проектирования и создать оптимальную, рациональную конструкцию при обеспечении максимальной энергетической и массовой эффективности и оптимизации материальных затрат, а так же расширить задачи и области применения малоразмерных БПЛА, использующих комбинированную силовую установку нового типа.

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 90 наименований, хорошо оформлена и изложена на 136 страницах машинописного текста. Содержит 8 таблиц, 44 иллюстрации. Диссертация написана технически грамотным языком, содержит логически стройный материал. Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы.

Во введении сформулирована актуальность темы работы. Проанализированы основные проблемы существующих двигательных установок. Отмечена научная новизна, теоретическая и практическая



значимость полученных результатов. Приведены основные положения, выносимые на защиту, сведения об апробации результатов работы и описана структура диссертации.

*В первой главе* проведен анализ публикаций, рассматриваются общие вопросы существующих малоразмерных авиационных двигателей применяемых на БПЛА, обращается внимание на их характерные особенности, производится сравнение ВРД с двигателями других типов, определяются области оптимального применения, исследуются недостатки современных двигательных установок. Этот обзор показывает, что использование в качестве ДУ и ее элементов свободнопоршневых двигателей представляет определённый интерес.

*Во второй главе* описывается объект исследования – комбинированный ПуВРД со свободнопоршневым нагнетателем. Показано, что идеологической основой является использование свободно поршневой техники в качестве системы подачи компонентов в камеру сгорания, а так же расчет и построение характеристик ДУ для совмещения с проектным заданием на малоразмерный БПЛА. Производится разработка методики определения основных проектных параметров.

*В третьей главе* производятся расчеты по разработанным методикам и математическое моделирование различных комбинаций проектных параметров с целью определения оптимальных значений.

Рассмотрено влияние частоты работы двигателя на его тяговые характеристики и ресурс. Исследуется влияние скорости продувки топливной смесью на охлаждение теплонапряженных узлов ДУ.

Показано значительное влияние коэффициента усиления тяги от скорости полета в исследуемых случаях. Выводы и результаты сопровождаются объяснением явлений с точки зрения теории.

*В четвертой главе* проведена верификация методики выбора проектных параметров сравнением с результатами экспериментального исследования. Получена хорошая сходимость экспериментальных и расчетных данных, что говорит о возможности применения допущений, моделей физических процессов и расчетной постановки исследования для изучения рабочих процессов. На основании разработанной методики проведена оценка основных параметров ЛА со стартовой массой от 1 до 100 кг и показано, что предложенный новый вариант комбинированной ДУ, обладает массовой эффективностью, сравнимой с известными разработками, и заслуживает дальнейшего более полного исследования.

*В заключении* подведены итоги работы.

**Научная новизна** диссертационной работы определяется разработкой и верификацией методики определения параметров комбинированного пульсирующего ВРД со СПН, позволяющей найти конструктивные параметры реактивной системы малоразмерного БПЛА для полёта на заданной высоте с заданной скоростью, разработкой и верификацией методики расчета оптимального соотношения параметров процесса охлаждения внутренних теплонагруженных узлов продувкой топливной смесью, а так же обоснованием

способа повышения тяговой эффективности пульсирующего ВРД путем присоединения дополнительной массы в эжекторном усилителе тяги (ЭУТ).

**Теоретическая значимость** заключается в том, что полученные выводы по методике выбора проектных параметров с учётом уравнений теплового баланса и оптимального соотношения параметров внутреннего охлаждения узлов продувкой топливной смесью дополняют теорию теплообмена в пульсирующих ВРД. Основные теоретические результаты могут стать основой для дальнейшего изучения механизмов расчёта процессов и теплообмена в ПуВРД с СПН.

**Практическая значимость** заключается в том, что в соответствии с разработанной методикой изложены принципы, определяющие облик ДУ – двигателем должен быть реактивный ЭУТ периодичного пульсирующего поршневого двигателя с нетрадиционно лёгкой поршневой группой, с применением разработок всей существующей поршневой техники.

**Обоснованность и достоверность научных положений, представленных выводов и рекомендаций** определяется строгостью используемого математического аппарата и корректным использованием фундаментальных уравнений теории, расчета и проектирования силовых установок ЛА. Сравнение результатов численного моделирования с известными экспериментальными данными и проверкой достоверности на упрощенных моделях, для которых существуют аналитические решения, обеспечило сходимость результатов расчетов и эксперимента.

При исследовании физических процессов используются допущения: стенка СПН адиабатическая, продукты сгорания и компоненты топлива являются идеальными газами, химические реакции протекают бесконечно быстро, расчеты стационарны.

Делается положительный вывод о возможности применения использованных допущений на базе хорошей сходимости с экспериментальными данными разница не превышает 7-9 %.

Положительно оценивая работу в целом, необходимо высказать следующие **замечания**:

1. В работе проведено исследование увеличения скорости поршня СПН, но не рассмотрены материалы, из которых должна быть выполнена поршневая группа.
2. Не учитывается сток тепла через стенки КС.
3. Указывается, что на основе предварительного исследования в качестве элементов конструкции комбинированной ДУ, могут использоваться элементы малых ДВС. В этом случае желательно также было предоставить более подробную информацию о размерном ряде существующих двигателей.
4. Не проводится сравнение эффективности эжекторного усилителя тяги на других режимах.

Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки работы.

Диссертация Минина Николая Владимировича на тему «Методика выбора проектных параметров комбинированного пульсирующего ВРД со

свободнопоршневым нагнетателем для малоразмерных БПЛА» является законченной научно-квалификационной работой, включающей в себя совокупность новых научных результатов и положений, их обоснование и применение к практическим задачам проектирования двигателей малоразмерных БПЛА. Цель работы достигнута.

Диссертационная работа отвечает требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 21.04.2016 № 335), а автор диссертации Минин Николай Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Официальный оппонент:

Старший научный сотрудник  
отдела «Двигатели и химмотология»  
ФГУП «Центральный институт авиационного  
моторостроения имени П.И. Баранова»,  
кандидат технических наук



Шаров Михаил Сергеевич

Кандидатская диссертация защищена по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова»

Адрес: 111116, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, 2

Телефон: +7 (495) 362-93-89

E-mail: sharov@ciam.ru

<http://www.ciam.ru/>

Подпись М.С. Шарова заверяю:

Учёный секретарь института

ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»



 Е.В. Джамай

16.11.2017 