

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный конструктор
ПАО «ОДК-УМПО»

д.т.н., профессор



Марчуков Е.Ю.

«30» ноября 2017г.

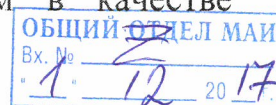
ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Минина Николая Владимировича «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»

Необходимость повышения эффективности и надежности двигательной установки (ДУ) беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), в том числе двигателей малой тяги, стоит в приоритете целей современных научно-исследовательских организаций авиационной отрасли. Сложность процессов в камере сгорания (КС) Воздушно-реактивных двигателей малой тяги, необходимость повышения качества проектирования и сокращения временных затрат на разработку требуют появления новых конструкторских решений и усовершенствования существующих методик расчета основных процессов, протекающих в двигателе.

Проводимые исследования должны быть направлены на поиск оптимальной схемы силовой установки и разработку методики выбора ее проектных параметров и содержат разработки по совершенствованию:

- силовой установки путем перехода к комбинированной силовой установке, использующей преимущества ДУ традиционного типа;
- методики выбора проектных параметров комбинированного пульсирующего ВРД со свободнопоршневым нагнетателем в качестве



06.12.2017 Гидруф -

перспективной силовой установки для малоразмерных БПЛА, которая позволит им максимально полно выполнять поставленные перед ними задачи.

Построение таких методик является перспективным, учитывая уже имеющийся опыт использования современных численных методов проектирования на отечественных предприятиях аэрокосмической отрасли. Такие методики могут быть комбинированными, когда одна группа параметров определяется, например, эмпирико-аналитическими зависимостями, другая - с помощью дополнительных экспериментов (например, проливок, продувок, других тестов), а основное проектирование производится с помощью численных методов моделирования.

Использование численного моделирования в процессе экспериментальной отработки позволяет сократить количество экспериментов и снизить, соответственно, стоимость создания двигателя.

Применение численного моделирования, однако, требует верификации по экспериментальным данным расчетной модели, используемых моделей физических процессов.

В диссертационной работе автором решаются актуальные научные и технические задачи по поиску оптимальных проектных параметров и повышению эффективности двигательной установки малоразмерного БПЛА.

Разработка методики выбора проектных параметров комбинированного пульсирующего ВРД со свободнопоршневым нагнетателем (СПН) является актуальной и позволит:

- 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;
- расширить задачи и области применения малоразмерных БПЛА, использующих комбинированную силовую установку нового типа.

Научная новизна и практическая значимость работы

В работе проведена разработка и верификация методики определения параметров комбинированного пульсирующего ВРД со СПН, позволяющей найти конструктивные параметры реактивной системы малоразмерного БПЛА для полёта на заданной высоте с заданной скоростью.

Автором разработана и верифицирована методика расчета оптимального соотношения параметров процесса охлаждения внутренних теплонагруженных узлов продувкой топливной смесью.

На основании проведенных исследований обоснования вариантов конструктивного исполнения реактивной системы, в том числе с учетом использования в ее составе конструктивных элементов уже существующих двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

Обоснования способа повышения тяговой эффективности пульсирующего ВРД путем присоединения дополнительной массы в эжекторном усилителе тяги.

Достоверность результатов и обоснованность научных положений обеспечена строгостью используемого математического аппарата и корректным использованием фундаментальных уравнений теории, расчета и проектирования силовых установок ЛА, а так же сравнением результатов численного моделирования с известными экспериментальными данными и проверкой достоверности на упрощенных моделях, для которых существуют аналитические решения.

Общие сведения о диссертационной работе

Диссертационная работа Минина Н.В. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка условных обозначений и списка источников. Объем диссертации составляет 136 страницы, список источников включает 90 ссылок.

Во **введении** обосновывается актуальность работы, сформулированы цели и задачи диссертационной работы. 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** 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.

Во **второй главе** производится разработка методики определения основных проектных параметров комбинированного ПуВРД. В начале главы представлена конструктивная схема комбинированного малоразмерного пульсирующего ВРД с подачей рабочего тела с помощью свободно поршневого нагнетателя в качестве ДУ для малоразмерных БПЛА различного назначения.

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

В частности, определены тяга, расход горючего, геометрические размеры поршневых групп, геометрические размеры эжекторного усилителя тяги, массовые характеристики комбинированного пульсирующего ВРД со свободнопоршневым нагнетателем для малоразмерных БПЛА.

В **четвертой главе** 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. На основании предварительного технико-экономического анализа БПЛА лёгкого класса показано, что предложенный вариант удовлетворяет всем основным требованиям современного этапа развития средств выведения.

В **заключительной части диссертации** приведены **выводы и рекомендации**.

По теме диссертации опубликовано 12 работ: две статьи в рецензируемых журналах и изданиях, рекомендованных ВАК, основные положения и

результаты диссертации представлены на пяти международных и всероссийских научно-технических конференциях, получено пять патентов РФ на полезные модели.

Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы

Результаты работы внедрены и используются в учебном процессе на кафедре 610 «Управление эксплуатацией ракетно-космических систем» ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Результаты также могут быть использованы научно-исследовательскими и производственными организациями, для сокращения затрат на стадии испытаний за счет предварительного численного моделирования процессов в комбинированных ВРД для малоразмерных БПЛА.

Замечания по содержанию диссертации

Считаем необходимым высказать следующие замечания.

1 Автор не учитывает интеграцию предложенной комбинированной двигательной установки в конструкцию планера малоразмерного ДПЛА. Необходимо дополнительно рассмотреть влияние размеров свободнопоршневого мембранного нагнетателя на лобовую тягу.

2 Автором не проведено исследование работы двигательной установки с частотой более 100 Гц, которое, возможно, окажет положительное влияние на тяговые характеристики, без существенного ухудшения надежности и снижения рабочего ресурса ДУ.

3 Акцент работы делается на том, что в комбинированном пульсирующем ВРД используется свободнопоршневой нагнетатель, который позволяет гибко варьировать скорость поршня и использовать охлаждение узлов продувкой. В процессе расчетов было установлено, что граничным условием процесса продувки является скорость звука, превышение которой влечет за собой появление скачка уплотнения на продувочных окнах. Выбор этих граничных условий, а так же материалов, из которых может быть

изготовлена поршневая группа, должен быть более аргументирован, поскольку, как показано в главе 3, именно они оказывают определяющее влияние на эффективность работы двигателя.

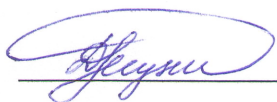
Отмеченные замечания не снижают положительной оценки диссертационной работы и не влияют на ее основные результаты.

Диссертация Минина Н.В. является законченной научно-квалификационной работой, включающей в себя совокупность новых научных результатов и положений, их обоснование и применение к практическим задачам проектирования ПуВРД малой тяги. Цель работы достигнута. Диссертация написана технически грамотным языком, содержит логически стройный материал. Публикации автора достаточно полно отражают основные результаты и выводы работы.

Диссертационная работа отвечает требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Минин Николай Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 - «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

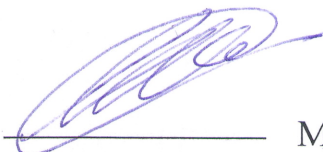
Отзыв на диссертационную работу Минина Н.В. рассмотрен и одобрен на заседании научно-технического совета ОКБ им. А. Люльки ПАО «ОДК-УМПО», протокол № 12-2017 от 28 ноября 2017 г.

Секретарь НТС



к.т.н., Мухина С.Д.

Главный специалист



Службы главных конструкторов

Мохов А.А.