

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

**Мосолова Сергея Владимировича**

на диссертационную работу

Василевского Дмитрия Олеговича

«Способ увеличения удельного импульса тяги за счёт интенсификации теплообмена в системе охлаждения камеры сгорания жидкостного ракетного двигателя»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов (технические науки)

В диссертационной работе Василевского Д.О. рассмотрен способ повышения показателя экономичности кислородно-водородного жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) безгазогенераторной схемы при оптимизации геометрических параметров тракта охлаждения (ТО) и внутреннего «газового» оребрения в камере сгорания (КС).

**Актуальность** темы диссертации определена необходимостью увеличения параметра экономичности безгазогенераторного ЖРД находящегося в составе межорбитального транспортного аппарата или разгонного блока. Ввиду высоких энергетических характеристик двигателя, данный тип схемы питания является весьма перспективным для функционирования в составе разгонного блока или межорбитального транспортного аппарата .

Полный объем диссертации составляет 150 страницы и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, включает 89 иллюстраций, 16 таблиц.

**В первой главе** диссертации Василевского Д.О. проведен аналитический обзор по ЖРД безгазогенераторной схемы. Приведены мероприятия и конструктивные решения в безгазогенераторных ЖРД позволяющие увеличить

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

32 12 2022

давление в КС и УИТ. Выполнен анализ существующих промышленных способов повышения интенсивности теплообмена.

**Во второй главе** представлена математическая модель камеры и тракта охлаждения кислородно-водородного безгазогенераторного ЖРД, описывающая рабочие процессы двигателя в квазистатической постановке. В основу математической модели положены уравнения газовой динамики, термодинамики, гидравлики, тепломассообмена, расчета энергетических и геометрических параметров ЖРД. Математическая модель разделена на отдельные модули для решения конкретной задачи проектирования и оптимизации геометрических параметров. Каждый отдельный модуль содержит набор исходных данных изменяющихся в процессе проектирования, располагающиеся на разных уровнях процесса проектирования ЖРД. Методики представлены в виде итерационного расчета геометрических и энергетических параметров ЖРД по критерию обеспечения максимального УИТ двигателя при увеличенном разогреве и минимальных потерях давления хладагента.

**В третьей главе** приведено описание устройства характерной пневмогидросистемы двигателя РД 0146, являющимся объектом исследования в диссертационной работе.

**Четвертая глава** посвящена расчетно-теоретическому исследованию увеличения УИТ и подогрева горючего в безгазогенераторном кислородно-водородном ЖРД. На основании разработанной математической модели Василевским Д.О. проведено исследование по увеличению подогрева с целью получения наибольшего УИТ. На основании приведенных зависимостей, по изменению давления в КС от температуры на выходе из ТО, было выявлена тенденция увеличения УИТ при повышении давления в КС. Автор предлагает способ увеличения поверхности теплообмена за счёт развития боковой поверхности с целью роста температуры хладагента. В работе приводится оптимизация системы охлаждения и внутреннего обребрения при штатном режиме работы двигателя. Оптимизация показала необходимые геометрические

параметры системы охлаждения и внутреннего обребрения позволяющие повысить давления в КС на 2,5 МПа, при этом УИТ увеличивается на 5 с.

**В пятой главе** проведен критический анализ математической модели. Проводится сопоставления расчётной температуры на выходе из ТО с данными находящимся в открытой печати. Представлены результаты верификации на примере двигателя SSME 40 К с автономным регенеративным охлаждением. Результаты показывают количественную и качественную картину соответствия экспериментальным данным.

В заключении приведены основные результаты, выносимые на защиту.

Приведенные в разделах диссертации результаты полностью соответствуют научным положениям, выносим на защиту.

**Практическая ценность** результатов работы заключается в том, что разработанная математическая модель и методика расчета позволяют определить основные проектные параметры безгазогенераторного ЖРД при вариации исходных данных, выбрать схему охлаждения двигателя, обеспечивающую оптимальные значения удельного импульса тяги, давления в КС и энергетических параметров ЖРД.

#### **Степень достоверности результатов проведенных исследований:**

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается использованием известных методов исследований и научных положений, а также определением геометрических и энергетических параметров двигателя, основанных на теории ЖРД, хладотехники и теплотехники, на фундаментальных положениях термодинамики, газовой динамики и гидравлики.

#### **Научная новизна проведенных исследований:**

1. Разработана методика и программа для оптимизации конструкции системы охлаждения безгазогенераторного кислородно-водородного ЖРД;

2. Автором разработана математическая модель кислородно-водородного безгазогенераторного ЖРД, описывающая рабочие процессы в квазистатической постановке;
3. С помощью разработанной математической модели кислородно-водородного безгазогенераторного ЖРД определены изменения удельного импульса тяги двигателя в зависимости от давления в КС.
4. В диссертационной работе предложен способ повышения параметра экономичности кислородно-водородного безгазогенераторного ЖРД за счет развития поверхности внутри КС.

При рассмотрении диссертационной работы считаю необходимым обратить на следующие **замечания**:

1. Не приводится теплогидравлический расчёт ракетного двигателя при меньших давлений в КС и подогревов хладагента.

2. В тексте диссертации не приведены геометрические параметры двигателя SSME 40K.

3. На странице 93 имеется опечатка на рисунке 4.11 «Зависимость температуры после ТО от давления в КС» вместо «Зависимость температуры на выходе из ТО от давления в КС».

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы. Формулировка основных результатов и выводов логически следует из содержания диссертационной работы. Диссертация написана технически грамотным языком и является законченной научно-технической квалификационной работой. Личный вклад автора обоснован и подтвержден. Содержание автореферата полностью отражает основные положения, изложенные в диссертации. Основное содержание и результаты диссертационной работы представлены в четырех публикациях, четыре из которых – в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ.

## Заключение.

Считаю, что диссертационная работа «Способ увеличения удельного импульса тяги за счёт интенсификации теплообмена в системе охлаждения камеры сгорания жидкостного ракетного двигателя» соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор – Василевский Дмитрий Олегович – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов (технические науки).

Официальный оппонент:

Начальник отделения 1 Акционерного общества «Государственный научный центр Российской Федерации «Исследовательский центр имени М.В.Келдыша», кандидат физико-математических наук



Мосолов Сергей Владимирович

Адрес: 125438, г. Москва, ул. Онежская, д.8

Рабочий телефон: 8 (495) 456-64-85

Электронная почта: mosolov@kerc.msk.ru

Отзыв составлен « 28 » 12 2022 г.

Личную подпись кандидата физико-математических наук

Мосолова Сергея Владимировича заверяю

Заместитель генерального директора

по кадрам АО ГНЦ «Центр Келдыша»



С.Н. Михеев

С отзывом ознакомлен 10.01.2023 год