

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Мосолова Сергея Владимировича

на диссертацию Белякова Владислава Альбертовича

«Повышение энергетических характеристик безгазогенераторных кислородно-водородных жидкостных ракетных двигателей»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов (технические науки)

Представленная к защите диссертационная работа посвящена определению оптимальных параметров кислородно-водородных жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) безгазогенераторной схемы для межорбитальных буксиров (МБ), таких как давление в камере сгорания (КС) и удельный импульс тяги двигателя.

Целью данной работы является повышение энергетических характеристик безгазогенераторного кислородно-водородного ЖРД, а также выбор перспективной схемы двигателя.

Актуальность диссертационной работы обусловлена перспективой применения безгазогенераторной схемы ЖРД в составе межорбитального буксира, служащего для выведения космических кораблей на межпланетные орбиты, а также для доставки полезного груза на геосинхронную орбиту с дальнейшим возвращением на низкую околоземную орбиту. Существующие проекты безгазогенераторных ЖРД, разрабатываемые в США, ЕС, России и Японии показывают, что безгазогенераторная схема является перспективной для ее использования в ЖРД для межорбитального буксира.

Диссертация состоит введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка цитируемых источников, включающего 113 наименований. Общий объем диссертации составляет 142 страницы, включая 52 иллюстрации, 16 таблиц, а также одно приложение.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, новизна и практическая значимость диссертационной работы, сформулирована цель и поставлены задачи исследования, представлены основные положения, выносимые на защиту.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

12.12.2022

В первой главе диссертации Белякова В.А. проведен обзор работ по отечественным и зарубежным кислородно-водородным ЖРД открытых, закрытых и безгазогенераторных схем двигателя. В работе приведено качественное сравнение энергетических параметров ЖРД различных схем для использования в составе межорбитального буксира, среди которых наиболее перспективной отмечается безгазогенераторная схема. Отмечаются ее преимущества, недостатки и особенности, заключающиеся в отсутствии газогенератора. Автором работы сформулирована постановка задачи расчета параметров безгазогенераторного ЖРД, состоящая в определении оптимальных значений давления в КС, удельный импульс тяги двигателя, энергетических параметров основных и бустерных турбонасосных агрегатов (ТНА и БТНА) с учетом теплового состояния КС при фиксированной тяге двигателя и соотношении компонентов топлива.

Содержание второй главы составляет описание методики расчета параметров безгазогенераторного кислородно-водородного ЖРД на основе математической модели, описывающей квазистатические рабочие процессы двигателя. Разработанная автором математическая модель состоит из модуля исходных данных и модуля расчета по частным инженерным методикам, располагающиеся на разных уровнях процесса проектирования ЖРД. Представленные методики описывают итерационный расчет геометрических и энергетических параметров ЖРД, ТНА и БТНА по критерию обеспечения оптимальных значений давления в КС, удельного импульса тяги двигателя, энергетических параметров агрегатов ТНА и подогрева хладагента в тракте охлаждения камеры.

В третьей главе представлено описание программно-математического обеспечения расчетов, состоящее из ряда программных модулей, связанных между собой. Необходимо отметить, что разработанная программа расчета реализована на языке программирования Python, который позволяет создать программу, удовлетворяющую требованиям простоты, адаптивности, доступности и экономичности.

В четвертой главе приведено расчетное исследование кислородно-водородного безгазогенераторного ЖРД и представлен анализ применения

математической модели для обеспечения оптимальных энергетических параметров двигателя. С помощью разработанной математической модели автором исследовано влияние изменения температуры подогрева охладителя в межрубашечном пространстве камеры на энергетическую увязку двигателя в зависимости от давления в КС и числа оборотов ротора турбонасосного агрегата горючего (ТНАГ). В работе также представлено влияние изменения энтальпии компонентов топлива на энергетические параметры камеры. На основании полученных зависимостей Беляков В.А. определил границы изменения удельного импульса тяги двигателя в зависимости от давления в КС и числа оборотов ротора ТНАГ. Было выявлено, что повышение давление в КС до 115 атм возможно за счет увеличения температуры подогрева горючего в тракте охлаждения до 460-500 К, ограничивающееся температурой применяемого материала огневой стенки или ребер, установленных на ней в целях увеличения площади теплообмена. Необходимо также отметить, что в работе приведены зависимости влияния изменения числа оборотов ротора ТНАГ на интенсификацию теплообмена в тракте охлаждения, а также на давление в КС и энергетические параметры турбонасосного агрегата окислителя и бустерного турбонасосного агрегата горючего. С учетом полученных зависимостей автором работы было выявлено, что при максимальном теплосъеме горючего с конструкции КС возможно обеспечить давление в КС 115 атм и удельный импульс тяги двигателя 473 с.

Пятая глава посвящена схемным решениям исследуемого кислородно-водородного ЖРД, выполненного по безгазогенераторной схеме. Автором разработана схема с дополнительным отбором турбогаза со входа в ТНАГ на вход в смесительную головку КС, обеспечивающая удельный импульс тяги двигателя до 467 с при давлении в КС менее 9 МПа. Достижение более высокого давления в КС осуществимо за счет применения схемы двигателя с дополнительным отбором турбогаза с выхода из тракта охлаждения на вход в ТНАГ, обеспечивающая удельный импульс тяги до 473 с при давлении в КС более 9 МПа.

В заключении приведены основные результаты, выносимые на защиту.

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

Основной вклад диссертанта в решение исследуемой проблемы заключается в том, что разработанная математическая модель, методика и программно-математическое обеспечение позволяют:

1. Определить основные проектные параметры ЖРД и его агрегатов для ряда исходных данных.

2. Автоматизировать процедуры расчета параметров квазистатических рабочих процессов кислородно-водородного ЖРД, выполненного по безгазогенераторной схеме.

3. Определить оптимальные параметры двигателя в зависимости от давления в КС, температуры подогрева компонента топлива в тракте охлаждения камеры и числа оборотов ротора ТНА при фиксированной тяге и соотношении компонентов топлива.

4. Выбрать перспективную схему двигателя.

Степень достоверности результатов проведенных исследований:

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается использованием известных методов исследований и научных положений, а также определением основных параметров двигателя и его агрегатов, основанных на теории ЖРД, лопаточных машин и теплотехники, на фундаментальных положениях термодинамики, газовой динамики и гидравлики.

Научная новизна проведенных исследований:

1. Разработана математическая модель кислородно-водородного безгазогенераторного ЖРД, описывающая квазистатические рабочие процессы.
2. При помощи разработанной математической модели определены границы изменения удельного импульса тяги двигателя в зависимости от давления в

КС при фиксированной тяге двигателя и соотношении компонентов топлива.

3. Разработана методика и программно-математическое обеспечение для проведения вариантных расчетов параметров кислородно-водородного безгазогенераторного ЖРД.
4. Получена оценка влияния интенсификации теплообмена в тракте охлаждения камеры и изменения энтальпии компонентов топлива с учетом энергетического баланса агрегатов (ТНА и БТНА) на энергетические параметры двигателя.
5. На основании полученных зависимостей изменения параметров двигателя от давления в КС и теплового состояния камеры предложены перспективные схемные решения кислородно-водородного безгазогенераторного ЖРД, обеспечивающие оптимальные значения удельного импульса тяги и энергетических характеристик ТНА и БТНА.

При рассмотрении диссертационной работы считаю необходимым обратить на следующие замечания:

1. В диссертационной работе не представлены графические зависимости изменения конвективного и лучистого тепловых потоков, а также температуры подогрева хладагента в ТО и стенок со стороны жидкости и газа для различных давлений в КС, хотя в тексте работы их описание проведено.

2. В диссертации не приведена конструкция тракта охлаждения камеры в случае применения оребрения огневой стенки камеры. Поэтому не ясно как в работе оцениваются дополнительные потери давления на трение в КС.

Отмеченные недостатки не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы. Автор при выполнении диссертационного исследования показал глубокие знания в области двигателестроения, является квалифицированным специалистом по расчету и проектированию ЖРД и агрегатов ТНА и владеет современными методами этих разделов науки и техники.

Название диссертационной работы отражает ее содержание, представленные в ней материалы и результаты достаточно точно отражены в научных публикациях соискателя

Заключение

Считаю, что диссертационная работа «Повышение энергетических характеристик безгазогенераторных кислородно-водородных жидкостных ракетных двигателей» соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор – Беляков Владислав Альбертович – 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 «09» 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 12.12.2022 