



риментов и моделирования внутрикамерных процессов в двигателе летательных аппаратов. Проведен анализ принципа работы сверхзвуковых двухконтурных камер сгорания. Даны их преимущества и недостатки. На основе анализа сформулированы задачи исследования, которые отражают структуру диссертации.

Вторая глава посвящена разработанной автором модельной установки для экспериментальной отработки сверхзвуковой камеры сгорания. Приводятся её основные характеристики и объясняется принцип работы.

В третьей главе приведены расчетно-теоретические исследования рабочего процесса в сверхзвуковой двухконтурной камере сгорания, выбраны безразмерные критериальные зависимости, характеризующие основные параметры газового потока и геометрию камеры сгорания. Критериальные зависимости отражают геометрию камеры сгорания. Их использование позволяет сформировать облик камеры, обеспечивающей необходимую структуру газового потока в ней.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям сверхзвуковой двухконтурной камеры сгорания. Установлена принципиальная возможность организации горения и дожигания за уступом в сверхзвуковой камере сгорания, определены предельные расходы (срыв горения) при заданных параметрах на входе в камеру дожигания. Выполнена верификация данных результатов численного моделирования с экспериментальными данными. Процесс горения моделировался введением в камеру водорода, метана, азота и т.д. Качество горения оценивалось по радикалу ОН. Получено, что в камере формируется двухконтурный режим течения. Второй контур, содержащий сверхзвуковой воздушный поток, защищает обечайку камеры от перегрева. На основании анализа проведённых расчётных и экспериментальных исследований составлена инженерная методика расчёта рациональной геометрии сверхзвуковой двухконтурной камеры сгорания, основанной на комплексе графических зависимостей параметров рабочего процесса к камере от безразмерных геометрических параметров камер.



Актуальность темы диссертации. Диссертация посвящена решению задач, связанных с разработкой летательных аппаратов, для которых в качестве энергоустановки используется ракетно-прямоточный двигатель.

Тема диссертационного исследования является весьма актуальной, поскольку с каждым годом увеличивается темп развития аэрокосмической промышленности, и для удовлетворения ее все время растущих нужд необходимо улучшать и совершенствовать методы расчетного и экспериментального моделирования энергоустановок. Если в наличии разработчиков ракетно-прямоточных двигателей имеются математические модели и экспериментальные методики, позволяющие с достаточной для практики точностью определять рабочие параметры энергоустановок и их элементов, то затраты времени, материальных средств и ресурсов для создания новых летательных аппаратов существенно сокращаются, что приводит к улучшению их качества.

Поэтому задача разработки облика сверхзвуковой двухконтурной камеры сгорания твёрдого топлива является важной и актуальной.

Научная новизна результатов работы. Научная новизна полученных лично автором результатов заключается в разработке инженерной методики и алгоритма определения рациональных геометрических размеров облика сверхзвуковой двухконтурной камеры сгорания. В соответствии с поставленными в работе задачами автором получены следующие научные результаты:

Выводы и рекомендации по проектированию сверхзвуковых двухконтурных камер сгорания, полученных в результате проведения подробных расчетных и экспериментальных исследований.

Сформирован рациональный облик сверхзвуковой двухконтурной камеры сгорания твёрдого топлива.

Получена инженерная методика определения рациональных геометрических размеров облика сверхзвуковой камеры сгорания твёрдого топлива.

Практическая значимость работы определяется тем, что в результате расчётно-теоретического исследования сформулированы рекомендации по выбору рациональных геометрических размеров облика сверхзвуковой двух-

контурной камеры сгорания. Экспериментальными исследования подтверждена возможность эффективного применения сверхзвуковой двухконтурной камеры сгорания.

Достоверность.

Достоверность и степень обоснованности научных положений и полученных автором результатов подтверждается тем, что результаты расчетов по предложенной модели сопоставлены с экспериментальными данными, а также сопоставлены с результатами, полученными в программном комплексе ANSYS. Сопоставление результатов расчетно-теоретического исследования с результатами моделирования в программно-вычислительном комплексе ANSYS показало удовлетворительное согласование результатов, что свидетельствует о высокой степени достоверности и обоснованности представленных в диссертации новых научных результатов.

Результаты исследований, представленные в диссертации, изложены в трех изданиях, рекомендованных ВАК, а также докладывались на российских и международных конференциях.

Диссертационную работу Широкова И.Н. характеризует высокий научный уровень, актуальность тематики, практическая ценность и новизна.

Отметим следующие значимые результаты работы:

- разработана модельная установка для проведения экспериментальных исследований сверхзвуковых двухконтурных камер сгорания, позволяющая сократить время проведения экспериментальных исследований и уменьшить их стоимость;

- выполнено расчётно-теоретические исследования в программном комплексе ANSYS, позволившие сформировать комплекс критериальных функций, оказывающих основное влияние на параметры рабочего процесса в сверхзвуковой двухконтурной камере сгорания.

Работа Широкова И.Н. представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Материал изложен понятным языком и хорошо структурирован, обозначен личный вклад автора в результаты исследований.

Разработанные схемно-конструктивные решения обладают большой практической значимостью, а рекомендации по проектированию сверхзвуко-



вой двухконтурной камеры сгорания и связанная с этим методика расчетно-экспериментального исследования могут быть применены в работах предприятий аэрокосмической промышленности (ФГУП «ЦИАМ» им. П.И. Баранова, АО «МКБ «Искра» им. И.И. Картукова», АО «Корпорация «МИТ» и др.) по проектированию ракетно-прямоточных двигателей. В настоящий момент новые научные результаты, полученные Широковым И.Н., внедрены в работах МАИ.

Замечания и рекомендации по диссертационной работе.

Необходимо обратить внимание на следующие положения диссертации, к которым имеются замечания:

1. Большинство расчетов, проведённых автором не оптимизировано. Не исследована возможность дополнительного сокращения компьютерного времени за счет огрубления расчетных сеток в областях, существенно не влияющих на результаты численных расчетов в рамках поставленных задач. Рекомендуется также провести более тщательные параметрические исследования влияния степени сгущения сетки в области пограничных слоев.

2. Рассматриваемые сверхзвуковые двухконтурные камеры сгорания могут быть определены в рамках двумерной постановки. Однако в случае, если осуществляется проектирование конкретного летательного аппарата, имеющего трехмерную конфигурацию, необходимо обладать сведениями о влиянии различных трехмерных эффектов на работу рассматриваемой системы. Автором в рамках диссертации эти эффекты определены не были.

3. Автором не определено минимально допустимое число Маха, на котором осуществляется работка камеры сгорания.

Указанные недостатки не влияют на высокий и современный научный уровень диссертации, ей присущи большая степень научной новизны и она является практически значимой.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Выводы:

В целом диссертация Широкова И.Н. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему. Автором решены важные научные задачи, имеющие существенное значение для

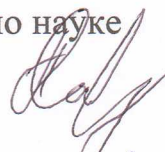
ракетного двигателестроения, такие как: уменьшение затрат на проведение экспериментальных исследований, определение направлений совершенствования ракетно-прямоточных двигателей, разработка конкретных рекомендаций по эффективным схемноконструктивным решениям и др.

Работа в целом отвечает требованиям пункта 7 Положения о порядке присуждения ученых степеней, а её автор, Широков Игорь Николаевич, заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Диссертация рассмотрена и одобрена на заседании Научно-технического совета Открытого акционерного общества «Научно-исследовательское предприятие гиперзвуковых систем». Протокол от 10 мая 2018 года № 2.

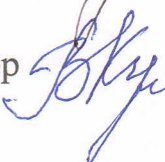
Заместитель генерального директора по науке

кандидат технических наук



А.А.Саваровский

Начальник НИО-3, д.ф.-м.н., профессор



В.В.Кучинский

Ученый секретарь НТС

кандидат физико-математических наук



А.В.Корабельников