

ОТЗЫВ
официального оппонента
на диссертационную работу Широкова Игоря Николаевича
«Облик сверхзвуковой двухконтурной камеры сгорания твёрдого
топлива», представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые,
электроракетные двигатели и энергоустановки летательных
аппаратов».

Актуальность темы исследования.

В диссертационной работе Широкова И.Н. рассматриваются вопросы, связанные с разработкой и проектированием ракетно-прямоточного двигателя. Этот тип двигателя в настоящее время является одним из наиболее перспективных для аэрокосмических летательных аппаратов. Он сочетает в себе преимущества ракетного (высокие тяговые характеристики) и прямоточного (высокие экономические характеристики) двигателей.

Несмотря на то, что на эту тему проведено уже достаточно большое количество расчетно-экспериментальных работ, в настоящий момент потенциалы ракетно-прямоточного двигателя раскрыты далеко не полностью и исследования по данному направлению продолжаются, и будут продолжаться в будущем. Это связано в первую очередь с тем, что для ракетно-прямоточного двигателя характерно очень большое количество вариантов конкретного конструктивного исполнения. При этом в настоящее время нет варианта, однозначно признанного оптимальным. Поэтому тема диссертации Широкова И.Н., в которой изучаются процессы, протекающие в варианте ракетно-прямоточного двигателя с двухконтурной камерой сгорания, является актуальной.

Структура и содержание диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка обозначений и сокращений, списка литературы. Материал изложен на 115 страницах и включает в себя текст, 82 рисунка и 23 таблицы. Список литературы содержит 80 наименований. Оформление диссертации соответствует требованиям, установленным правилам и стандартам.

Первая глава диссертации представляет собой обзор литературных источников по схемам камер сгорания ракетно-прямоточных двигателей, свойствам применяемых и перспективных топлив, существующим экспериментальным и расчетно-теоретическим методам исследований рабочих процессов. На основании проведенного анализа литературных данных сформулированы задачи исследований для диссертации.

Вторая глава посвящена вопросам, связанным с разработкой модельной сверхзвуковой двухконтурной камеры сгорания. Приведено подробное описание экспериментальной установки. Изложены методики и результаты расчетов, проведенных в обеспечение выбора геометрических характеристик модельной камеры.

Третья глава диссертации посвящена расчетно-теоретическим исследованиям рабочего процесса в сверхзвуковой двухконтурной камере сгорания, проведенным с помощью программного пакета ANSYS. Кратко описаны основные подходы и модели, использовавшиеся в расчетах для описания турбулентности и горения. Приведены геометрические и физические исходные данные, принятые для расчетов, а также характеристики использованных сеток. Проведен краткий анализ полученных данных, основанный на результатах 36 расчетов, в которых варьировались скорость подачи горючего, высота горла, высота уступа и длина камеры.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований процессов в модельной сверхзвуковой двухконтурной камере сгорания. Были проведены три серии экспериментов. В первой серии на холодных продувках изучалась структура течения в камере. Во второй серии экспериментов перпендикулярно сверхзвуковому потоку горячего воздуха (при числе Маха около 2 и температуре около 1500 К) в камеру вдувалось газообразное горючее (метан, водород, пропан). Здесь изучались условия самовоспламенения и устойчивого горения. В третьей серии также изучались, в основном, условия воспламенения и горения, но при этом в поток воздуха приблизительно с теми же параметрами вдувалась смесь водорода с азотом, имитировавшая продукты предварительной газогенерации. Для определения области горения во второй и третьей сериях экспериментов применялся метод спектрозональной съемки на длине волны излучения радикала ОН. В этой же главе с целью верификации расчетной

модели проведено сопоставление полученных экспериментальных результатов с результатами расчетов, выполненных для условий экспериментов. Выявлено достаточно хорошее качественное совпадение расчетных и экспериментальных результатов.

Научная новизна.

К настоящему времени накоплено достаточно много научных результатов, относящихся к процессам в камере сгорания ракетно-прямоточного двигателя для условий, когда в реакцию с кислородом в потоке атмосферного воздуха вступает горючее в газовой фазе. Однако подавляющее количество таких результатов относится к случаю, когда атмосферный воздух и газообразное горючее подаются в камеру сгорания в виде соосных однонаправленных потоков. Научная новизна диссертации Широкова И.Н. определяется тем, что в ней рассматривается малоизученный случай, когда поток газообразного горючего направлен перпендикулярно потоку воздуха. Это существенно изменяет процесс смешения по сравнению со смешением однонаправленных потоков. Для такого малоизученного случая автором диссертации проведены расчетные и экспериментальные исследования и получены новые научные результаты по условиям устойчивого горения.

Практическая ценность

Практическая ценность диссертации состоит в том, что полученные в ней данные и сформулированные рекомендации могут использоваться в процессе проектирования сверхзвуковых двухконтурных камер сгорания.

Достоверность.

Научные положения, выводы и рекомендации диссертации являются достоверными, так как они получены на основании решения фундаментальной системы уравнений сохранения массы, количества движения, энергии и уравнения состояния и подтверждены результатами серии проведенных автором экспериментальных исследований.

Замечания

1. В диссертации получено большое количество расчетных и экспериментальных результатов, однако глубина их анализа оставляет желать лучшего. Основное внимание уделено анализу условий, обеспечивающих стабильное горение. При этом влияние различных параметров на такие характеристики, как полнота сгорания и удельный импульс, в диссертации специально не анализируется.

2. Экспериментальные исследования проведены на модельной камере сгорания сравнительно небольшого размера. Поэтому главу, посвященную методике проведения экспериментов, было бы уместно дополнить разделом, посвященным критериям подобия.

3. В диссертации расчетным путем и экспериментально получены результаты и выданы некоторые рекомендации применительно к плоской камере сгорания. Было бы желательно добавить к этому аналогичные расчетные результаты для осесимметричной камеры. Даже без подкрепления экспериментами, такие результаты были бы интересны как с научной, так и с практической точки зрения.

Заключение

В целом, диссертация И.Н. Широкова выполнена на высоком уровне, соответствующем ученой степени кандидата технических наук. На основе численного моделирования и современных экспериментальных методов в диссертации получены новые научные результаты по качественным особенностям и количественным характеристикам горения применительно к камере сгорания ракетно-прямоточного двигателя с подачей газообразного горючего перпендикулярно сверхзвуковому воздушному потоку. На основе полученных результатов сформулированы практические рекомендации по облику камеры сгорания.

Основные результаты диссертации изложены в 6 публикациях (в том числе 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК), и докладывались на 3-х научных конференциях, в том числе на двух международных.

Автореферат и опубликованные работы в полной мере отражают содержание диссертации и полученные автором основные результаты.

Тема и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Считаю, что диссертационная работа соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (п. 9), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор Игорь Николаевич Широков заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Доктор физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы, профессор, главный научный сотрудник отделения твердотопливных ракетных двигателей Государственного научного центра Российской Федерации – федерального государственного унитарного предприятия «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша»

11 мая 2018 г.

Черкасов Сергей Гелиевич

Почтовый адрес: ул. Онежская, д. 8, г. Москва, Россия, 125438

Контактный телефон: +7 (495) 456-20-62

Адрес электронной почты: sgcherkasov@yandex.ru

Подпись д. ф.-м. н., профессора Черкасова С.Г. удостоверяю:
Исполняющий обязанности ученого секретаря
Государственного научного центра Российской Федерации – федерального государственного унитарного предприятия «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша»



Н.А. Алексеева