

# РАКЕТНО - КОСМИЧЕСКАЯ КОРПОРАЦИЯ

141070

г. Королев

Московской области,

ул. Ленина, 4-а

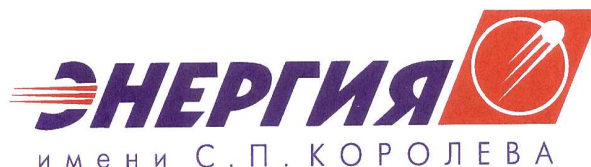
Телеграфный "ГРАНИТ"

Телефон: (495) 513-86-55

Факс: (495) 513-88-70, 513-86-20, 513-80-20

E-mail: post@rsce.ru

http://www.energia.ru



Экз. № 1

От 05.04.18 № 275-7/104

На № \_\_\_\_\_

Московский авиационный институт,  
Учёному секретарю диссертационного  
совета Д212.125.14,  
кандидату физико-математических наук  
В. Ю. Гидаспову

125993, г. Москва,

А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д.4

## О Т З Ы В

на автореферат на диссертационную работу Назыровой Рузалии Равильевны  
«Термодинамический расчёт параметров продуктов сгорания в камере  
жидкостного ракетного двигателя на основе вариационных принципов механики»,  
представленную на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук  
по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы»

## **Актуальность для науки и практики**

Диссертационная работа Назыровой Р.Р. посвящена разработке новой, усовершенствованной технологии проведения термодинамических расчётов параметров продуктов сгорания топлива жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) – многокомпонентной, многофазной смеси реагирующих веществ, участвующих в равновесном процессе течения в камере ЖРД.

Актуальность диссертационной работы Назыровой Р.Р. определяется объектом исследования — процессами горения углеводородов в ракетных двигателях, что позволяет повысить качество моделирования работы ЖРД и в значительной степени определяет облик, эффективность и надёжность перспективных двигателей.

Автор провёл анализ процессов и явлений, сопровождающих течение однородных и многофазных сред в сопле камеры жидкостного ракетного двигателя, при механических и тепловых воздействиях с целью разработки надежных, приемлемо точных и достаточно скоростных технологий термодинамических расчетов, обеспечивающих, с одной стороны, данными, адекватными известным физико-химическим и математическим теориям, и, с другой стороны, мобильных в плане исследования параметров процессов для различных математических моделей описания состояния веществ и их смесей.

Решению такой задачи и посвящена данная диссертационная работа. Предлагаемая автором методика, позволяет повысить точность расчётов горения углеводородов в камерах ЖРД и может применяться в перспективных ЖРД летательных аппаратов при их проектировании.

## **Основные научные результаты и их значимость для науки и производства**

При проведении данной работы автором были решены следующие задачи:

1. Сформулированы математические модели равновесных состояний и процессов течения в сопле камеры ЖРД на основе вариационных принципов механики.

2. Определены свойства множеств, функций и задач, представляющих математические модели.

3. Разработаны эффективные математические технологии вычислений, реализующих сформулированные математические модели.

4. Исследованы параметры газожидкостных потоков в процессе течения в сопле камеры ЖРД для различных математических моделей состояния смесей веществ.

Новизна представленной работы заключается в следующем:

1. Сформулировано, что фундаментальную основу термодинамического расчёта параметров реагирующих смесей веществ, участвующих в процессе течения в сопле камеры ЖРД, составляют вариационные принципы механики.

2. Определено, что известные классические постановки задач термодинамического расчета при учете уравнения состояния реального газа получаются при подстановке в соответствующие обобщенные задачи результатов осреднения интегралов.

3. Постулировано, что фундамент термодинамического расчета параметров реагирующих систем, находящихся в некотором равновесном состоянии, описываемом давлением и энтальпией или энтропией, образует поиск температуры, принадлежащей достаточно малой окрестности решения, с помощью в том числе и известных соотношений аналитической геометрии, и методов выпуклого программирования, обеспечивающих решение задач вариационных принципов механики поиска миноранты.

4. Обосновано, что базисной основой термодинамического расчета параметров реагирующих систем веществ, находящихся в равновесном состоянии, описываемом давлением и температурой, является суперпозиция ряда методов, наиболее значимыми из которых являются метод условного градиента, метод неопределенных множителей Лагранжа и метод Ньютона, обеспечивающих при

комплексном применении приемлемую надежность и достаточно высокую скорость вычислений, а также адекватность результатов расчетов исходным физико-химическим положениям за счет применения оригинальных формул оценок достижения окрестности решения.

5. Показано, что для любых допустимых давлений и температур существуют такие окрестности решения, где состав реагирующей смеси веществ остается с приемлемой точностью постоянным; это позволяет существенно упростить расчет параметров систем при фазовых или полиморфных переходах, а также отказаться от организации итерационных процессов, например, при поиске давления при заданных температуре и энтропии, за счет применения оригинальных формул вычислений.

6. Продемонстрирована теоретическая разработка и практическая реализация сформулированных и обоснованных идей в программах термодинамических расчётов для различных математических моделей смесей веществ.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертации подтверждена Свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ, для решения задач термодинамического расчета свойств многокомпонентных смесей равновесно реагирующих веществ в камерах сгорания и соплах ЖРД, что определяет целесообразность рекомендации разработанных технологий к применению для исследования параметров продуктов сгорания для достаточно обширной области значений давлений и температур. Результаты исследований внедрены в практику работы ряда ведущих предприятий ракетно-космической отрасли.

Кроме того, совпадение результатов расчетов с приемлемой точностью с данными всемирно признанного 10-томного справочного издания "ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ", полученными без привлечения метода "больших молекул", обуславливают достаточно высокий уровень достоверности результатов теоретических и практических исследований.

Полученные результаты могут быть применены в перспективных ЖРД летательных аппаратов.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.**

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при проектировании перспективных ЖРД летательных аппаратов различного назначения, а особенно, для перспективных ЖРД, использующих синтетические высокоэнергетические топлива, и для ЖРД которые по своим энергетическим параметрам, вплотную подошли к технологическому пределу в части повышения их характеристик.

### **Общие замечания**

К замечаниям можно отнести отсутствие в данной работе прямого сравнения точности расчётов предлагаемой методики с традиционными, используемыми при расчётах ЖРД.

Следует отметить, что указанные замечания не снижают общей положительной оценки выполненных исследований и их ценности.

### **Заключение**

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы 283 страниц, 190 рисунков на страницах и по

тексту, 33 таблиц по тексту, список литературы на 18 страницах, включающий 177 наименований.

Судя по автореферату диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и получали положительную оценку на семинарах КГУ им. В.И. Ульянова-Ленина, КГТУ им. А.Н. Туполева, МГУ им. М.В. Ломоносова, ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, ОИВТ РАН, ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» и 24 конференциях республиканского, российского, всесоюзного и международного (12) уровней, в том числе: 4<sup>th</sup> World Conference on Experimental heat Transfer 2-6 июня 1997, Национальная конференция по теплоэнергетике НКТЭ-2006, 4-8 сентября, 2006, Казань, Россия, Международная конференция, посвященная девяностолетию со дня рождения Л.С. Понтрягина, 31 августа - 6 сентября, 1998, Москва, Россия, Международная научная конференция, посвященная 90-летию со дня рождения Г.Г. Тумашева, 21-24 ноября, 2000, Казань, Россия, Международная научная конференция, посвященная 200-летию Казанского университета, 18-24 марта, 2002, Казань, Россия, Всероссийская научно-техническая конференция "Ракетно-космические двигательные установки", посвященная 65-летию со дня основания кафедры "Ракетные двигатели" МГТУ им. Н.Э. Баумана, 23-24 октября, 2013, Москва, Россия.

Новые научные результаты, полученные диссертантом, представляют интерес для проектирования перспективных двигателей и могут быть рассмотрены в перспективных ЖРД летательных аппаратов для улучшения расчётов их энергетических параметров.

Выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Работа отвечает требованиям Положения о порядке присуждения научных и научно-педагогическим работникам ученых степеней, предъявляемым к диссертациям, представленным на соискание учёной степени.

