

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕХАНИКИ
им. А.Ю. ИШЛИНСКОГО
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИПМех РАН)**

пр. Вернадского, д.101, к.1, г. Москва, 119526
Тел. (495) 434-00-17 Факс 8-499-739-95-31
ОКПО 02699323, ОГРН 1037739426735
ИНН/КПП 7729138338/772901001

09.12.2022 № 11504/01-2141.1-613

На № _____

Председателю диссертационного совета
24.2.327.08, на базе
ФБГОУ ВО «Московский авиационный
институт (национальный
исследовательский университет)»,
д.ф.-м.н., профессору
П.С.Красильникову

125993, Москва, А-80, ГСП-3,
Волоколамское шоссе, д.4

Уважаемый Павел Сергеевич !

Направляем Вам отзыв ведущей организации на диссертацию Зыонг Минь Дык на тему: «Исследование многофазных высокотемпературных реагирующих течений термодинамическим методом» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Зам.директора ИПМех
им. А.Ю. Ишлинского РАН
д.т.н.



В.И.Карев

В.И.Карев

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«12» 12 2022

ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕХАНИКИ
им. А.Ю. ИШЛИНСКОГО
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИПМех РАН)

пр. Вернадского, д.101, к.1, г. Москва, 119526
Тел. (495) 434-00-17 Факс 8-499-739-95-31
ОКПО 02699323, ОГРН 1037739426735
ИНН/КПП 7729138338/772901001

09.12.2022 № 4504/01-2171-1-614

На № _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. директора ИПМех
им. А.Ю. Ишлинского РАН
И.Т.Н.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук на диссертацию Зыонг Минь Дык «Исследование многофазных высокотемпературных реагирующих течений термодинамическим методом», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

Диссертация Зыонг Минь Дык посвящена созданию и усовершенствованию математических моделей в области многофазных высокотемпературных реагирующих течений, разработке численных методов, направленных на решение прикладных задач с учетом химических реакций и фазовых переходов.

Актуальность темы

В настоящее время возрастает важность работ над расширением возможностей применения термодинамического метода при постановке и решении научно-технических задач, в том числе задачи исследования многофазных высокотемпературных реагирующих течений, в которых без адекватного учета химически реагирующих процессов невозможно получить достоверные результаты. Развитие вычислительной техники позволяет усложнять имеющиеся модели и исследовать все более тонкие аспекты высокоэнергетических течений. Построенные на базе этих физико-математических моделей алгоритмы и вычислительные модели должны обеспечивать выполнение законов сохранения и начал термодинамики, гарантировать переход изучаемой системы в состояние термодинамического равновесия при условии не уменьшения энтропии.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«12» 12 2022г.

Краткий анализ содержания работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 128 страниц, включая 47 рисунков и 13 таблиц. Список литературы содержит 126 наименований.

Во **введении** диссертации приведен обзор литературы, относящейся к теме диссертации, обоснована актуальность темы диссертации, представлены объект и предмет научных исследований, сформулированы цель и задачи исследования, определена научная новизна и практическая значимость полученных автором результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту, сведения об апробации результатов диссертационной работы, а также дано краткое содержание работы по главам.

В **первой главе** приведено описание используемой в работе физико-математической модели с термодинамическим подходом для совершенного газа на основе принципа экстремума химических потенциалов. Модель включает в себя законы сохранения массы, энергии и условие электронейтральности. Представлены вычислительные алгоритмы, позволяющих решать различные задачи, возникающие при изучении многофазных высокотемпературных реагирующих течений. Реализованные в главе вычислительные алгоритмы прошли процедуры самотестирования, которые заключаются в последовательном использовании решателей равновесных задач при заданных разных парах термодинамических величин и сравнении получаемых параметров с известными программами и данными из справочников. Проведено исследование влияния давления на состав продуктов сгорания керосина в воздухе при избытке горючего. Расчетным путем получено, что зависимость концентрации сажи от давления качественно меняется при изменении коэффициента избытка воздуха.

Во **второй главе** рассмотрены особенности моделирования равновесного термодинамического состояния химически реагирующих систем с учетом свойств реального газа. Описан алгоритм, позволяющий определять химический состав и термодинамические характеристики равновесной системы с применением вириального уравнения в соответствии с теорией Больцмана и кинетической теорией газов для жестких сферических молекул.

Проведена проверка достоверности полученных результатов путем сравнения с данными, опубликованными в литературе.

В третьей главе приводятся физико-математические модели, вычислительные алгоритмы и результаты численного моделирования изоэнтропического расширения продуктов сгорания с учетом образования ионизированных компонентов. Рассматривалось равновесное течение в сопле жидкостного ракетного двигателя в квазиодномерной стационарной постановке. Исследовалось влияние давления в камере сгорания и концентраций щелочных добавок на степень ионизации продуктов сгорания.

Для метано-воздушной горючей смеси численно были построены равновесные ударные адиабаты в широком диапазоне начальных параметров с учетом свойств реального газа. Предложен вариант учета особенностей вириального уравнения состояния реального газа при реализации алгоритма численного моделирования с использованием этого уравнения состояния.

Проанализировано поведение ударных адиабат негорючих смесей на примере воздуха. В отличие от горючих смесей равновесная адиабата воздуха является кривой, проходящей через точку, соответствующую состоянию перед ударной волной. Процесс диссоциации и образования ионизированных частиц приводит к существенной немонотонности равновесных ударных адиабат.

В четвертой главе приведены вычислительные алгоритмы решения задачи о распаде произвольного разрыва на границе между инертным и детонирующим газами. Для описания свойств детонирующего газа использовались уравнения состояния совершенного и реального газов. Были рассмотрены две газофазные системы. Первая: в качестве инертного газа – гелий, детонирующего – стехиометрическая водородо-кислородная смесь. Исследовано влияние начального давления на степень отличия результатов, полученных при использовании уравнений состояния реального и совершенного газов. Вторая: включает в качестве инертного газа аргон, детонирующего газа – стехиометрическую метано-воздушную смесь. Получены зависимости параметров детонационных волн и коэффициента сжимаемости от начального давления.

В заключении формулируются основные результаты диссертации в соответствии с поставленными в диссертации задачами, обладающие научной и технической новизной и выносимые на защиту.

Оценка новизны и практической значимости

Научная новизна диссертационной работы Зыонг Минь Дык заключается в следующем.

1. Разработаны вычислительные модели для расчета равновесного состава многокомпонентной смеси газов, описываемой термическим уравнением состояния с вириальными коэффициентами и однофлюидной моделью смешения при заданных парах термодинамических величин, а также равновесных ударных адиабат и изоэнтропических течений с учетом возможного образования конденсированных компонентов.

2. Выявлено влияние вида уравнения состояния, описывающего исходную смесь и продукты сгорания на достигаемые термодинамически равновесные параметры при расчете детонационных адиабат, параметров детонации Чепмена-Жуге для смесей водород-кислород, метан-кислород-азот-инертный газ и изоэнтропических равновесных течений.

3. Разработан вычислительный алгоритм решения задачи о распаде произвольного разрыва для случая, когда слева и справа от начального разрыва и результирующего контактного разрыва газовая смесь может быть как замороженная, так и равновесная, и описываться как уравнением состояния совершенного газа, так и реального.

4. Получены количественные характеристики, описывающие влияние уравнения состояния продуктов сгорания на реализующиеся при решении задачи о распаде произвольного разрыва параметры течения, для газовых пар: гелий – смесь водорода с кислородом, аргон – смесь метана с воздухом.

Достоверность полученных результатов

Достоверность обеспечивается строгостью используемых математических постановок и физико-математических моделей, устойчивостью и сходимостью применяемых численных методов, тестированием вычислительных алгоритмов, а также согласованием результатов численного моделирования с результатами экспериментальных и расчетно-теоретических исследований других авторов.

Практическая значимость

Практическая значимость исследований состоит в том, что разработанные физико-математические модели и вычислительные алгоритмы могут использоваться для анализа течений с равновесными химическими превращениями в технологических и энергетических установках.

Публикации, апробация результатов работы и личное участие автора в получении результатов диссертации.

Основные положения диссертационного исследования опубликованы в 10 печатных работах, из них 4 статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК и в

международные реферативные базы данных. В материалах совместных публикаций в журналах из Перечня ВАК РФ личный вклад автора является определяющим. Автором разработаны алгоритмы для решения предложенных систем уравнений, написаны программы расчета многофазных высокотемпературных реагирующих течений, описанные в диссертации, и проведены расчеты для различных технологических установок.

Результаты диссертационной работы предлагается использовать в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах в авиационно-космической промышленности.

Замечания по диссертационной работе

По диссертации имеются следующие замечания:

1. В работе не были рассмотрены уравнения состояния веществ в конденсированном состоянии. В частности, не учитываются особенности поведения термодинамических функций вблизи критических точек.
2. В тексте диссертации автор не указывает, как в предложенных моделях учитываются процессы переноса (вязкость, теплопроводность, диффузия и т.д.) для отдельных компонент и для смеси газов в целом.
3. В работе отсутствует сравнение трудоемкости расчетов равновесных состояний в случае идеальных и реальных газовых смесей.
4. При использовании уравнения состояния с вириальными коэффициентами приводятся результаты численного моделирования только для смесей, включающих атомы С-Н-О-N. Желательно было бы рассмотреть смеси, включающие большее число атомов.
5. В четвертой главе задача о распаде произвольного разрыва решается в однофазной постановке. В настоящее время разработка эффективного алгоритма решения этой задачи в многофазной постановке представляет, в некотором смысле, больший интерес, чем в однофазной.

Заключение

Сделанные замечания не снижают актуальность и значимость полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку работы.

Диссертация Зыонг Минь Дыка является законченной научно-квалификационной работой, посвящена актуальной теме, выполнена автором на высоком научном уровне и

обладает как научной новизной, так и практической значимостью. Представленные в работе исследования достоверны, выводы и рекомендации обоснованы.

Диссертационная работа содержит достаточное количество исходных данных, имеет пояснения, рисунки, графики, примеры, подробные расчеты, написана технически квалифицированно и аккуратно оформлена. По каждой главе и работе в целом имеются выводы.

Основные этапы работы, выводы и результаты представлены в автореферате, соответствующем содержанию диссертации.

Полученные результаты соответствуют уровню кандидатской диссертации по специальности 1.1.9. - «Механика жидкости, газа и плазмы».

В итоге диссертация Зыонг Минь Дык «Исследование многофазных высокотемпературных реагирующих течений термодинамическим методом» является законченным научным исследованием, соответствующим требованиям п.п. 9-14 "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор Зыонг Минь Дык заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. - «Механика жидкости, газа и плазмы».

Проект отзыва заслушан на семинаре Лаборатории радиационной газовой динамики ИПМех РАН.

Заведующий лабораторией
Радиационной газовой динамики ИПМех РАН
профессор, академик РАН



С.Т.Суржигов

Контактная информация:

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН

Адрес: 119526, Москва, пр-т Вернадского, д. 101, корп. 1

Сайт: ipmnet.ru

Телефон: +7-495-434-00-17

e-mail: ipm@ipmnet.ru

С отзывом ознакомлен

№. 12.26.22 