

ОТЗЫВ

на диссертационную работу Гидаспова Владимира Юрьевича
«Математическое моделирование высокоскоростных многофазных течений с
физико-химическими превращениями», представленную к защите на
соискание ученой степени доктора физико-математических наук по
специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

Математическое моделирование является важным инструментом исследования многофазных течений, существенно дополняющим экспериментальные исследования. Необходимо отметить, что задача моделирования высокоскоростных многофазных течений с физико-химическими превращениями в полном объеме до сих пор не может быть решена с помощью широко используемых импортных и отечественных универсальных пакетов прикладных программ. Рассматриваемые в работе физико-химические процессы используются в авиации и ракетостроении, при создании и отработке двигателей и различных технологий. Поэтому крайне актуальным является создание многомасштабных физико-математических моделей, высокоточных вычислительных алгоритмов и комплексов программ для моделирования многофазных реагирующих течений, чему посвящена диссертационная работа Гидаспова В.Ю. “ Математическое моделирование высокоскоростных многофазных течений с физико-химическими превращениями ”.

Во введении сформулированы цели и задачи исследования, отражена новизна работы, описаны полученные результаты, их научная и практическая значимость.

В первой главе диссертационной работы описана предлагаемая автором комплексная физико-математическая модель высокоскоростных течений многокомпонентного газа и частиц. В модели учитывается наличие равновесных и неравновесных, описываемых многостадийными кинетическими механизмами, химических и фазовых превращений в газовой фазе и на поверхности частиц. Достоинством модели является автоматическое обеспечение перехода рассматриваемых неравновесных процессов в состояние термодинамического равновесия при условии неубывания энтропии.

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ

Вх. № 02 12 20 19

Во второй главе приводятся вычислительные алгоритмы расчета состояния термодинамического равновесия многофазных многокомпонентных смесей. Автором численно решена задача о распаде произвольного разрыва в многокомпонентной смеси совершенных для случаев “замороженного”, “равновесного” и “равновесно-замороженного” составов. Разработана модификация метода У.Г. Пирумова для численного интегрирования жестких систем уравнений химической кинетики и межфазного обмена импульсом и тепломассообмена, обеспечивающая автоматическое выполнение законов сохранения элементного состава. Приводится оригинальный вычислительный алгоритм прохождения особой точки при решении прямой задачи теории сопла в одномерной постановке для смеси совершенных газов с химическими превращениями, описываемыми многостадийными кинетическими механизмами.

В третьей главе приводится разработанный автором сеточно-характеристический метод для моделирования многофазных течений с физико-химическими превращениями в каналах. Метод позволяет рассчитывать течения с явным выделением присутствующих в них сильных и слабых разрывов, таких как ударные волны; контактные разрывы; звуковые характеристики, являющиеся границами вееров разрежения; граничные траектории распространения частиц и др., которые являются сеточными линиями. С использованием характеристического анализа рассчитываются взаимодействия между разрывами. Реализованы алгоритмы моделирования зарождения “висячих” ударных волн и корректного расчета ситуаций пересечения траекторий частиц дисперсной фазы. Приводятся результаты тестирования сеточно-характеристического метода на задачах, имеющих аналитическое решение и экспериментальных данных.

В четвертой главе в автомодельной и неавтомодельной постановках численно решена задача о распаде произвольного разрыва в детонирующем газе в случае, когда продукты сгорания представляют собой смесь совершенных газов при учете равновесного и неравновесного протекания химических реакций. Для сильно разбавленных аргоном водородо-кислородных смесей численно получены режимы, когда нестационарные детонационные волны выходят на стационарный режим распространения, соответствующий решению автомодельной задачи о распаде разрыва в детонирующем газе. Решена задача о стационарной

детонационной волне в канале переменного сечения со сверхзвуковым потоком на входе и выходе. В предположении о "замороженности" течения до детонационной волны и "равновесности" за ней, для стехиометрической смеси водорода с воздухом получены соотношения между радиусами входного, критического и выходного сечений каналов при которых реализуется стационарная детонационная волна. Исследована структура стационарных детонационных волн в газовых, газокапельных и металлогазовых горючих смесях в предположении, что продукты испарения участвуют в газофазных химических реакциях, а в случае металлогазовых смесей химические превращения протекают на поверхности капель металлов и приводят к образованию окислов. В составе газовой фазы допускается наличие конденсированных компонент. Получена структура волн детонации и дефлаграции для газокапельных смесей метанола -воздух, вода-воздух, керосин-воздух, а также металлогазовых смесей алюминия, магния и бора с воздухом. Используемые модели обеспечивают непрерывный переход параметров течения от неравновесного состояния к равновесному.

В пятой главе диссертации автором развивается вариант квазихимической модели гомогенной конденсации. Приводятся вычислительные алгоритмы для расчета равновесных функций распределения кластеров по размерам, как в стабильной, так и в метастабильной областях. Приводятся результаты тестирования вычислительной модели и сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными. Численно рассчитаны неравновесные функции распределения по размерам кластеров аргона, меди, свинца, воды, серебра в условиях, характерных для технологических установок, в том числе и в присутствии инертных газов.

В шестой главе приводятся результаты решения многомерных задач выполненные при участии автора. Разработанные автором численные методы, вычислительные алгоритмы и программные коды для расчета равновесного состава и решения уравнений химической кинетики и кинетики конденсации, межфазного обмена импульсом и тепломассообмена были интегрированы в программные комплексы многомерного моделирования. Проведено численное моделирование: детонации в модельных камерах сгорания и воспламенителях; загрязняющего воздействия кластеров свинца, образованных в результате гомогенной конденсации паров в струях твердотопливных ракетных двигателей, на полезную нагрузку;

воспламенения и горения керосино-воздушной газочапельной смеси, а также эмиссионных характеристик в камере сгорания ВРД; тепловых потоков на стенки камеры сгорания двигателя, работающего на смеси водорода с кислородом; обтекания летательного аппарата при движении с большой скоростью в атмосфере Земли.

Автореферат адекватно отражает содержание и основные результаты работы.


По работе можно указать следующие замечания:

1. В работе утверждается, что для описания термодинамических свойств веществ сложного состава, таких как керосин, в жидком и газообразном состояниях используются выражения для потенциала Гиббса, восстановленные по справочным данным. Однако коэффициенты восстановленных зависимостей не приводятся. Также отсутствует анализ точности описания свойств тяжелых углеводородов брутто-формулами.
2. При моделировании цилиндрической детонации водородо-воздушной смеси, автором делается вывод о корреляции рассчитанных продольных размеров детонационных ячеек с экспериментальными данными. Для большей обоснованности сделанного заключения, желательно было бы исследовать ряд других горючих смесей, например: метан-воздух, пропан-воздух и др.
3. В диссертационной работе утверждается, что разработана методика расчета концентраций токсичных компонент, по заданному трехмерному полю, рассчитанному с использованием для описания горения брутто-реакции. Однако сама методика описана крайне скудно, также отсутствует описание тестовых задач на которых она была апробирована.

Перечисленные замечания и избыточный объем диссертации компенсируются важностью полученных результатов, имеющих существенное значение для понимания физических процессов, протекающих в высокоскоростных многофазных течениях. Диссертация Гидаспова В.Ю. «Математическое моделирование высокоскоростных многофазных течений с физико-химическими превращениями», представленная на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне. Она полностью соответствует паспорту

специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы» и требованиям п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней (постановление правительства РФ № 842 от 24.09.2013). Считаю, что Гидаспов Владимир Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 "Механика жидкости, газа и плазмы".

Заведующий лабораторией физической газодинамики
Объединенного института высоких температур РАН,
доктор физико-математических наук, профессор



Голуб В. В.

Адрес электронной почты: golub@ihed.ras.ru

Полное название организации (с индексом):

125412, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Объединенный институт высоких температур Российской академии наук

Почтовый адрес: г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2

Телефон: 8(495)4842138

Адрес официального сайта организации в сети «Интернет»:

WWW: <http://www.jiht.ru>

Адрес электронной почты организации: E-mail: webadmin@ihed.ras.ru

Подпись Голуба В.В. заверяю

Ученый секретарь

Объединенного института высоких температур РАН,
доктор физико-математических наук



Амиров Р.Х.