

ОТЗЫВ

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

Диссертационная работа Гидаспова В.Ю. посвящена разработке физико-математических моделей, вычислительных алгоритмов, комплексов соответствующих программ и численному исследованию высокоскоростных течений газовых, газочапельных и металлогазовых смесей при наличии физико-химических превращений. Актуальность темы диссертационной работы обусловлена тем, что многофазные течения реализуются в камерах сгорания, соплах и струях различных технологических и энергетических установок, при движении летательных аппаратов в запыленной атмосфере, в системах пожаротушения и др.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и списка цитируемой литературы из 315 наименований, изложена на 413 страницах, содержит 354 рисунка и 21 таблицу.

Во введении представлено убедительное обоснование актуальности темы диссертации, достоверности полученных результатов, научной новизны, научной и практической значимости работы, четко определены цели, задачи и методы исследования, дан краткий обзор работы.

В первой главе диссертации формулируется математическая модель течений многокомпонентного газа и частиц, в которой учитываются химические реакции в газовой фазе и на поверхности частиц, фазовые переходы материала частиц. Приводятся входящие в нее модели термодинамических свойств компонентов среды, силового, теплового взаимодействия и массообмена, коэффициентов молекулярного переноса.

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ
Вх. № 11/12 2019

Предложенная автором оригинальная модель характеризуется единым подходом к описанию горючих состоящих из жидких углеводородов и частиц металлов при равновесном и неравновесном протекании газофазных химических превращений.

Во второй главе описан используемый в работе термодинамический подход, согласно которому равновесное состояние является стационарной точкой для неравновесных процессов, что обеспечивается за счет термодинамического согласования моделей химической кинетики и термодинамических свойств веществ. Приводятся вычислительные модели для расчета состояния термодинамического равновесия многокомпонентных смесей совершенных газов при заданных парах термодинамических параметров, а также равновесных адиабат. Учитывается возможность образования конденсированных компонентов.

Автором предложен вычислительный алгоритм решения задачи о распаде произвольного разрыва в многокомпонентной смеси газов с произвольными термодинамически допустимыми, уравнениями состояния, в том числе, для случая термодинамического равновесия в веере волн разрежения и за ударной волной. Приводится численное решение задач о распаде разрыва. Представлена модификация метода У.Г. Пирумова численного интегрирования жестких систем обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих химическую кинетику и межфазный теплообмен, обеспечивающая строгое выполнение законов сохранения элементного состава. С использованием оригинальных вычислительных алгоритмов автором решена прямая задача теории сопла в квазиодномерной стационарной постановке с прохождением особой точки при $M=1$ для многокомпонентного газа с равновесными и неравновесными химическими превращениями, описываемыми многостадийными кинетическими механизмами.

В третьей главе диссертации представлен оригинальный сеточно-характеристический метод расчета многофазных течений с физико-

химическими превращениями, отличающийся тем, что в областях непрерывности параметров потока используются характеристические соотношения, а для разрывов - соотношения Ренкина-Гюгонио, являющиеся следствием интегральных законов сохранения. Приводятся результаты тестирования разработанного метода на задачах, имеющих аналитическое решение, и с использованием экспериментальных данных.

В четвертой главе работы приводятся результаты исследования волн детонации в горючих газовых, газокпельных и металлогазовых смесях. Так, в случае детонации водородно-кислородной смеси, разбавленной аргоном установлено, что параметры перезжатой волны стремятся к параметрам волны в автомоделной задаче о распаде разрыва в детонирующем газе, рассмотренной во второй главе. В задаче о распространении цилиндрической детонационной волны в водородно-воздушной обнаружены колебания параметров головного скачка при приближении к режиму Чепмена-Жуге и параметров потока с периодом, соответствующим полученному в эксперименте продольному размеру детонационной ячейки. Проведено исследование возможности адекватного моделирования детонации пропановоздушной с помощью брутто-реакции и предложена ее трансформация, позволяющая существенно снизить ошибку по температуре, которая может достигать от 200 до 400 К. По результатам расчетов детонации газокпельных смесей автором сделан вывод о возможности при высоких температурах учитывать неравновесность только процесса испарения капель и в вычислительном эксперименте воспроизведена картина двухочагового воспламенения, качественно совпадающая с экспериментальными данными. При моделировании детонации металлогазовых смесей в воздухе в равновесном и неравновесном приближении получены структура и параметры волн дефлограции и детонации газовзвесей алюминия, магния и бора в воздухе.

В пятой главе диссертации представлен разработанный автором вариант квазихимической модели гомогенной конденсации. Приведены

вычислительные алгоритмы расчета равновесных и неравновесных функций распределения кластеров по размерам. Представлены результаты расчетов функций распределения по размерам кластеров аргона, меди, свинца, воды, серебра для технологических установок, функции распределения и средних размеров кластеров свинца, образующихся при истечении из сопел РДТТ. Сеточно-характеристическим методом исследовано истечение конденсирующегося пара в вакуумную камеру. Предложена система граничных условий, позволяющая описывать в квазиодномерном нестационарном приближении взаимодействие ударно-волновых структур с пористой стенкой.

В шестой главе приведены примеры применения разработанных автором моделей и численных методов для исследования конкретных задач: о горении и детонации газофазных и газокапельных сред в модельных камерах сгорания, об обтекания летательного аппарата при движении с большой скоростью в атмосфере Земли.

В заключении приведены результаты диссертационной работы, выносимые на защиту.

Разработанные автором вычислительные алгоритмы моделирования многофазных течений с физико-химическими превращениями обеспечивают нахождение решения в областях со сложными ударно-волновыми структурами, в широком диапазоне термодинамических параметров и соотношений между компонентами, обеспечивают строгое выполнение законов сохранения и правил термодинамики. Используемые модели химической кинетики, кинетики конденсации, межфазного теплообмена прошли верификацию и валидацию. В результате проведения вычислительных экспериментов автором получены новые знания о физико-химических процессах, протекающих в многофазных средах. Разработанные методики моделирования и компьютерные программы могут использоваться и используются для анализа реагирующих многофазных

течений в энергетических и технологических установках различного назначения.

Замечания.

1. При моделировании детонации используются одномерные и двумерные модели, которые не позволяют в полной мере исследовать перспективы использования детонационного сжигания топлива при создании перспективных энергетических установок.
2. В диссертации отсутствует описание системы визуализации результатов расчетов, выполненных сеточно-характеристическим методом при существенно различном числе расчетных узлов на временных слоях.
3. При моделировании течения в каналах не учитываются, даже приближенно трение и теплообмен газа со стенками канала.
4. В шестой главе диссертации приводятся результаты расчетов двухмерных нестационарных и трехмерных расчетов. Однако отсутствует подробное описание используемых моделей турбулентности, методов построения расчетных сеток, а также методов расчетов параметров газового поля.
5. При моделировании высокоскоростных течений смесей газов и частиц автор говорит о соотношении массы газа и массы частиц, в то время как определяющим параметром задачи является соотношение расходов газа и частиц.

Заключение.

Представленные замечания не снижают научной ценности диссертационной работы, которая является законченной научно-квалификационной работой, выполнена на высоком научном уровне, полученные результаты представляются достоверными, являются новыми и оригинальными, а выводы - обоснованными. Основное содержание

диссертации опубликовано в 42 статьях в ведущих научных изданиях, рекомендованных ВАК. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.02.05 "Механика жидкости, газа и плазмы".

Уровень изложения диссертации, совокупность представленных оригинальных результатов и сформулированных выводов удовлетворяют требованиям ВАК РФ. Диссертация соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года, и «Изменений, которые вносятся в Положение о присуждении ученых степеней», утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации №1024 от 28 августа 2017 года, и является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором теоретических исследований сложных физико-химических процессов получены фундаментальные данные и разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как крупное научное достижение. Автор диссертации Гидаспов Владимир Юрьевич несомненно заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 "Механика жидкости, газа и плазмы".

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,

Ведущий научный сотрудник, Математический

институт им. В.А. Стеклова Российской академии наук

Марков Владимир Васильевич

Контактные данные

Россия, 119991, Москва, ул. Губкина, д. 8

Тел.: +7 9151875022

E-mail: markov@mi-ras.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена докторская диссертация

01.02.05 (механика жидкости, газа и плазмы)

/В.В. Марков/

11.12.2019

Горюхи В.В. Марков завершено

Ученый секретарь МАН

