

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

**Диссертационный совет:** Д 212.125.14

**Соискатель:** Гидаспов Владимир Юрьевич

**Тема диссертации:** Математическое моделирование высокоскоростных многофазных течений с физико-химическими превращениями.

**Специальность:** 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы».

**Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:**

На заседании 27 декабря 2019 года, протокол №19, диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, и принял решение присудить Гидаспову Владимиру Юрьевичу ученую степень доктора физико-математических наук.

**Присутствовали:** *председатель диссертационного совета Красильников П.С., ученый секретарь диссертационного совета Колесник С.А., а также члены диссертационного совета: Холостова О.В., Бардин Б.С., Колесник С.А., Котельников В.А., Котельников М.В., Косенко И.И., Маркеев А.П., Никитченко Ю.А., Овчинников М.Ю., Ревизников Д.Л., Рябов П.Е., Ципенко А.В., Черепанов В.В., Шамолин М.В..*

Ученый секретарь диссертационного совета

Д 212.125.14, д.ф.-м.н., доцент

С.А.Колесник



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.14, СОЗДАННОГО  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 27.12.2019 № 19

О присуждении Гидаспову Владимиру Юрьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Математическое моделирование высокоскоростных многофазных течений с физико-химическими превращениями», выполненная на кафедре «Вычислительная математика и программирование», представленная к защите по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы» принята к защите 24.09.2019 г., (протокол заседания №7), диссертационным советом Д 212.125.14, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерства науки и высшего образования РФ, 125993, Москва, А-80, ГСП - 3, Волоколамское шоссе, д. 4, приказ Минобрнауки РФ о создании диссертационного совета – №714/НК от 02.11.2012 г.

Соискатель Гидаспов Владимир Юрьевич, 1962 года рождения, в 1985 году окончил Московский авиационный институт по специальности «Прикладная математика» с присвоением квалификации «инженер-математик». В 1993 году им была защищена кандидатская диссертация на тему: «Численное моделирование



двухфазных течений с ударными и детонационными волнами» по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы в диссертационном совете К 053.18.02 в Московском авиационном институте (диплом кандидата наук КН №02763 от 15 октября 1993 г.). В 1994 году Гидаспову В.Ю. присвоено Ученое звание старшего научного сотрудника. В период с 2000 по 2003 год Гидаспов В.Ю. обучался в очной докторантуре МАИ. В настоящее время Гидаспов В.Ю. работает ведущим научным сотрудником в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации».

Диссертация выполнена на кафедре «Вычислительной математики и программирования» в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации».

Научный консультант: профессор кафедры «Вычислительная математика и программирование» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) доктор физико-математических наук, профессор Ревизников Дмитрий Леонидович.

Официальные оппоненты:

1. Голуб Виктор Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор заведующий лабораторией физической газовой динамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур РАН (ОИВТ РАН, г. Москва, Россия);
2. Марков Владимир Васильевич, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела механики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Математического института им. В.А. Стеклова Российской академии наук (МИАН, г. Москва,

Россия)

3. Стасенко Альберт Леонидович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного унитарного предприятия Центрального аэрогидродинамического института имени Н.Е.Жуковского (ЦАГИ, г. Жуковский, Россия)

Все оппоненты дали положительное заключение о диссертации.

1. Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН, 119526, Москва, проспект Вернадского, д. 101, корп. 1) представило положительный отзыв ( № 11504/01-2171.1-783 от 24.09.2019 г.), который подписан заведующим лабораторией радиационной газовой динамики Института проблем механики им. А. Ю. Ишлинского Российской академии наук, профессором, академиком РАН, доктором физико-математических наук, Суржиковым Сергеем Тимофеевичем (специальность 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы») и утвержден исполняющим обязанности директора института, доктором технических наук В.И Каревым. В отзыве ведущей организации указано, что диссертация Гидаспова В.Ю. «Математическое моделирование высокоскоростных многофазных течений с физико-химическими превращениями» является завершенной научной работой, выполнена на актуальную тему, на высоком научном уровне. Полученные автором результаты представляются достоверными, выводы и заключения - обоснованными. В работе разработаны теоретические положения и получены прикладные результаты, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области механики жидкости, газа и плазмы. Диссертационная работа Гидаспова В.Ю. «Математическое моделирование высокоскоростных многофазных течений с физико-химическими превращениями» соответствует всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 01 октября 2018 г. № 1168), а её автор, Гидаспов Владимир



Юрьевич, заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Замечания по диссертации:

1. Автором выносятся на защиту разработанный оригинальный сеточно-характеристический метод. К сожалению автор не приводит в работе оценок точности, сходимости и других важных характеристик этого метода. Ни в одном примере использования этого метода нет оценок зависимости решения от сетки и не показана сходимость получаемого решения на сетке.
2. В большинстве решенных в диссертации задач автор явно указывает, что вязкие эффекты не учитываются. В ряде случаев это довольно спорное утверждение. Например в пункте 3.6 моделируется течение в холодном тракте установки ГУАТ ИПМех РАН. Длина установки 9 м, а диаметр 8 см. При нормальных условиях пограничные слои, формирующиеся на стенках установки за ударной волной, должны сомкнуться, что сильно повлияет на все течение после отражения ударной волны от торца рабочей части. Поэтому при решении подобных задач необходимо обосновывать возможностью пренебречь вязкостью, теплопроводностью и т.п.
3. В ряде задач, включенных в диссертацию и моделирующих конкретный эксперимент, нет сравнения с экспериментальными данными, например, п. 3.7. Численное моделирование детонации в ударной трубе.
4. Автором допущена определенная небрежность при оформлении диссертационной работы. В тексте довольно много опечаток, часть рисунков низкого качества (например рис. 3.21 и далее в главах 3 и 4).

Отзыв заслушан на научно-исследовательском семинаре Лаборатории радиационной газовой динамики ИПМех РАН.

Соискатель имеет 42 печатные работы по теме диссертации, опубликованных в рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ, среди которых 12 публикаций в изданиях, индексируемых международными базами данных Scopus и Web of Science. Всего Гидасповым В.Ю. по теме диссертации опубликовано более 200

печатных научных трудов, включая 4 монографии и 11 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ.

Статьи в журналах и изданиях из перечня, рекомендованных ВАК РФ

1. Гидаспов В.Ю., Иванов И.Э., Крюков И.А. Численное моделирование инициирования детонации в фокусирующем канале. Математическое моделирование, 1992, т.4, N 12, с. 85-88.
2. Виноградов А.В., Волков В.А., Гидаспов В.Ю., Розовский П.В. О влиянии остаточного газа на расширение плотного газового облака в вакуумной камере и его взаимодействие с мишенью или со стенкой. ЖТФ. 1993. Т.63. N11. с. 20-24.
3. Виноградов А.В., Волков В.А., Гидаспов В.Ю., Муслиев А.В., Розовский П.В. Метод расчета нестационарных реагирующих течений с явным выделением поверхностей сильных и слабых разрывов. Математическое моделирование, том 8, N 3, 1996, с. 79-90.
4. Виноградов А.В., Волков В.А., Гидаспов В.Ю., Розовский П.В. Взаимодействие расширяющегося газового облака с перфорированным экраном. Журнал технической физики. 1997. Т. 67. № 5. С. 19-22.
5. Пирумов У.Г., Гидаспов В.Ю., Даниелян А.А., Иванов И.Э., Крюков И.А., Муслиев А.В. Численный анализ двухфазного течения в газодинамическом фильтре. Математическое моделирование. 1998. Т. 10. № 11. С. 19.
6. В.А.Волков, В.Ю.Гидаспов, У.Г.Пирумов, В.Ю.Стрельцов. Численное моделирование течений реагирующих газочапельных и газовых смесей в экспериментах по воспламенению метанола. ТВТ, 1998, N 3.
7. В.Ю.Гидаспов, А.А.Карпов. Численное исследование динамики аэрозоля в задаче о загрязнении верхней атмосферы. Математическое моделирование, т.11, №2, 1999, с.65-73.



8. В.А.Волков, В.Ю.Гидаспов, В.Ю.Стрельцов. Численное моделирование течений реагирующих газовых смесей за отраженными ударными волнами. Математическое моделирование, т.11, №2, 1999, с.74-80.
9. В.Ю.Гидаспов, Н.В. Безменова, С.А. Шустов, И.Э. Иванов. Моделирование течения продуктов сгорания в соплах ЖРДМТ. Математическое моделирование, т.11, №6, 1999, с.45-51.
10. Гидаспов В.Ю., Иванов И.Э., Крюков И.А., Стрельцов В.Ю. Исследование нестационарных неравновесных процессов в акустическом резонаторе Гартмана. Математическое моделирование, 2003, т.15, № 6, с. 41-47.
11. В.Ю.Гидаспов, И.Э.Иванов, И.А.Крюков, И.М.Набоко, В.А.Петухов, В.Ю. Стрельцов Исследование распространения волн горения и детонации в кумулирующем объеме. Математическое моделирование, 2004, т. 16, № 6, с.118-122.
12. В.Ю.Гидаспов, В.Ю.Стрельцов. Исследование влияния капель распыленной воды на воспламенение и детонацию водородо-воздушной смеси. Математическое моделирование, 2004, т. 16, № 6, с.123-126.
13. В.А.Волков, В.Ю.Гидаспов, В.Н.Гаврилюк, В.Ю.Стрельцов, А.В.Хохлов Численное моделирование газочапельных реагирующих потоков в камерах сгорания двигательных установок. Математическое моделирование, 2005, т. 17, н. 8, стр. 46-60.
14. Е.В.Астраханцева, В.Ю.Гидаспов, Д.Л.Ревизников. Математическое моделирование гемодинамики крупных кровеносных сосудов. Математическое моделирование, 2005, т. 17, н. 8, стр. 61-80
15. Е.В.Астраханцева, В.Ю.Гидаспов, Д.Л.Ревизников. Применение TVD-схем для решения уравнений гемодинамики. "Труды МАИ", 2005, № 20, 29 с.
16. Е.В.Астраханцева, В.Ю.Гидаспов, У.Г.Пирумов, Д.Л.Ревизников. Численное моделирование гемодинамических процессов в артериальном дереве. Исследование

влияния пересжатия сосуда на параметры течения// Математическое моделирование, 2006, т. 18, н. 8, стр. 25-36

17. В.Ю.Гидаспов. Вычислительный алгоритм решения задачи о распаде произвольного разрыва в равновесно-реагирующем газе// Математическое моделирование, 2006, т. 18, н. 8, стр. 64-76.

18. В.А.Волков, В.Н.Гаврилюк, В.Ю.Гидаспов, А.В.Хохлов. Численное моделирование гиперзвукового обтекания тел воздухом с учетом равновесной диссоциации// Математическое моделирование, 2007, т. 19, н. 12, стр. 70-80.

19. В.Ю.Гидаспов, У.Г.Пирумов, Н.С.Северина. Математическое моделирование квазиодномерных нестационарных течений реагирующего газа с произвольным числом взаимодействующих разрывов// Вестник МАИ, Т. 15, № 5, 2008, с. 83-94.

20. В.Ю.Гидаспов, О.А.Москаленко, У.Г.Пирумов. Численное моделирование стационарных детонационных волн в газовых и газочапельных реагирующих смесях// Вестник МАИ, Т. 16 № 2, 2009, с. 51-61.

21. В.Ю.Гидаспов, С.А.Лосев, Н.С.Северина, В.Н.Ярыгина. Влияние электронного возбуждения на структуру ударной волны в кислороде// Вестник МАИ, М., Изд-во МАИ-ПРИНТ, Т. 16 № 2, 2009, с.93-100.

22. Гидаспов В.Ю., Лосев С.А., Северина Н.С. Роль термической неравновесности в моделировании химической кинетики на примере диссоциации молекулярного кислорода за фронтом ударной волны// Математическое моделирование, 2009, т. 21, н. 9, стр. 3-15.

23. В.Ю.Гидаспов, Н.С. Северина. Численное моделирование экспериментов по определению времени задержки воспламенения в ударных трубах// Вестник МАИ, Т. 16 № 6, 2009, с.182-192.

24. С.А.Шустов, В.Ю.Гидаспов, И.Э.Иванов, У.Г.Пирумов. Основы физической газовой динамики сопел и струй ракетных двигателей малой тяги// Вестник МАИ, Т. 16 № 7, 2009, с. 31-42.



25. В.Ю.Гидаспов. Распад разрыва в детонирующем газе// Вестник МАИ, Т. 17 № 6, 2010, с. 72-79.
26. В.Ю.Гидаспов, Н.С. Северина. Численное исследование газовой детонации в ударной трубе. Вестник Нижегородского университета им.Н.И.Лобачевского. №4. Часть 3. 2011. с. 714-716.
27. В.Ю.Гидаспов. Численное моделирование стационарных волн горения и детонации в смеси частиц алюминия с воздухом. Труды МАИ, 2011, № 49 , 18 с.
28. В.Ю.Гидаспов, У.Г.Пирумов, Н.С.Северина. Тестирование методики моделирования нестационарных течений газа с ударными и детонационными волнами. Вестник МАИ, Т. 18 № 6, 2011, с. 119-124.
29. В.Ю.Гидаспов. Численное моделирование стационарных волн горения и детонации в смеси частиц магния с воздухом. Труды МАИ, 2013, № 66 , 14 с.
30. В.Ю.Гидаспов. Численное моделирование химически неравновесного течения в сопле жидкостного ракетного двигателя. Вестник МАИ, Т. 20 № 2, 2013, с. 90-97.
31. В.Ю.Гидаспов, Н.С. Северина. Численное моделирование экспериментов по определению времени задержки воспламенения за падающими ударными волнами. Физика горения и взрыва, 2013, т. 49, № 4, с. 31-40.
32. В.Ю.Гидаспов, О.А.Москаленко, У.Г.Пирумов. Численное моделирование стационарных волн горения и детонации в керосино- воздушной горючей смеси. Вестник МАИ, Т. 21 № 1, 2014, с.169-177.
33. В.Ю.Гидаспов, Н.С. Северина. Численное моделирование тонкой структуры цилиндрической детонационной волны в водородно-воздушной горючей смеси. ТВТ, 53:4 (2015), 556–560.
34. В.Ю.Гидаспов. Численное моделирование одномерного стационарного равновесного течения в детонационном двигателе. Труды МАИ, 2015, № 83, 20 с.

35. Gidasov V.Yu., Golubev V.K, Severina N.S. A Software Package For Simulation Of Unsteady Flows Of The Reacting Gas In The Channel. Вестник южно-уральского государственного университета. Серия: математическое моделирование и программирование, 2016, Т. 9, № 3, С. 94-104.
36. В.Ю.Гидаспов, О.А.Москаленко. Численное моделирование инициирования детонации в керосино-воздушной газокapельной смеси падающей ударной волной. Труды МАИ. 2016. № 90.
37. В.Ю.Гидаспов. Численное моделирование стационарных волн горения и детонации в смеси частиц бора с воздухом. Труды МАИ. 2016. № 91.
38. В.Ю.Гидаспов, Н.С. Северина. Численное моделирование детонации пропано-воздушной горючей смеси с учетом необратимых химических реакций. ТВТ, 55:5 (2017), 795-799.
39. Гидаспов В. Ю., Иванов И. Э., Назаров В. С., Малашин Ф. А., Крюков И. А. Исследование процесса конденсации в соплах с большой степенью расширения//Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2018. Т.19, вып. 2. <http://chemphys.edu.ru/issues/2018-19-2/articles/737/>
40. В.Ю.Гидаспов, О.А. Москаленко, Н.С. Северина. Численное исследование влияния капель воды на структуру детонационной волны в водородо-воздушной горючей смеси. ТВТ, 56:5 (2018), 829-835.
41. Морозов А.Ю., Ревизников Д.Л., Гидаспов В.Ю. Алгоритм адаптивной интерполяции на основе kd-дерева для решения задач химической кинетики с интервальными параметрами. Математическое моделирование. 2018. № 12. С. 129-144.
42. В. Ю.Гидаспов, Н. С. Северина. Моделирование детонации металлогазовых горючих смесей в высокоскоростном потоке за ударной волной. ТВТ, 57:4 (2019), 560-571.



На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы (все отзывы положительные).

Отзыв на диссертацию официального оппонента, д.ф.-м.н., профессора Голуба Виктора Владимировича, заверенный ученым секретарем Объединенного института высоких температур РАН д.ф.-м.н. Р.Х.Амировым. Отзыв положительный, содержит 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.

Отзыв на диссертацию официального оппонента, д.ф.-м.н., Маркова Владимира Васильевича, заверенный Ученым секретарем МИАН С.А. Поликарповым. Отзыв положительный, содержит следующие 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 диссертационной работе 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, что снижает ценность полученных результатов.

4. В шестой главе диссертации автором приводятся результаты расчетов двумерных 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.

Отзыв на диссертацию официального оппонента, д.т.н., профессора Стасенко Альберта Леонидовича, заверенный Ученым секретарем Совета ЦАГИ д.ф.-м.н., профессором Брутяном М.А. Отзыв положительный, содержит следующие замечания:

1. Несмотря на высокотемпературный фон (несколько тысяч градусов Кельвина), в работе не учтено влияние излучения.

2. При описании динамики частиц принято выражение для коэффициента сопротивления шара, не учитывающее влияние горения и фазовых превращений, не рассмотрено также взаимодействие частиц друг с другом.

3. На некоторых графиках деления шкал плохо читаются (например, стр. 217, 381,382 диссертации)

Отзыв на автореферат диссертации главного научного сотрудника ПАО "РКК "Энергия" , д.ф.-м.н., доц. Алексеева Алексея Кирилловича и Ученого



секретаря ПАО “РКК “Энергия” , к.ф.м.н. Хатунцевой Ольги Николаевны. Отзыв положительный.

В качестве пожелания автору отмечено: “...хотелось бы пожелать автору рассмотреть влияние турбулентности на высокоскоростные многофазные потоки с учетом физико-химических превращений.

Отзыв на автореферат Заместителя генерального директора-начальника отделения 2 ГНЦ ФГУП “Центр Келдыша” д.т.н., профессора Миронова Вадима Всеволодовича и Заместителя начальника отделения 2 ГНЦ ФГУП “Центр Келдыша” д.т.н., профессора Борисова Дмитрия Мариановича. Отзыв положительный. К недостаткам работы можно отнести:

1. В материалах автореферата по главам 2 и 3 неоправдано большое внимание уделено техническим составляющим алгоритмов при недостаточном, на наш взгляд, изложении физических основ разрабатываемых моделей.

2. В автореферате не даны определения таких терминов как “многолистная газовая динамика” (с. 32 и с. 42 пункт 2) и “функция растяжения (с. 31), которые не являются общеупотребительными даже для специалистов. В тексте содержатся орфографические и синтаксические ошибки.

Отзыв на автореферат профессора кафедры молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества, Физического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова, д.ф.-м.н., профессора Знаменской Ирины Александровны, заверенный Ученым секретарем Ученого Совета МГУ В.А. Караваевым. Отзыв положительный. К недостаткам работы можно отнести следующие моменты:

1. Из анализа функций распределения приведенных на рис. 27 автореферата следует, что учет кластеров большого размера (больше 100000 молекул) при моделировании конденсации паров воды с помощью квазихимической модели возможно проводится некорректно.

2. При проведении высокотемпературных расчетов не учитываются процессы колебательной и вращательной релаксации.

Отзыв на автореферат профессора кафедры теории двигателей летательных аппаратов ФГАОУВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П.Королева», д.т.н. Шустова Станислава Алексеевича, заверенный Ученым секретарем, д.т.н., профессором В.С.Кузьмичевым. Отзыв положительный.

Замечание. В первой главе диссертации формулируется ряд допущений, в том числе о возможности использования модели сплошной среды, а в выражениях для гидродинамических потоков вещества, импульса и энергии допускается возможность пренебречь слагаемыми, описывающими диффузию, вязкость и теплопроводность и ограничиться только слагаемыми, описывающими конвективный перенос. Однако в тексте автореферата отсутствуют указания на ограничения в использовании модели, полученной на основе использования выше упомянутых допущений. Например, для низких чисел Рейнольдса, когда влияние вязкости на течение в сверхзвуковых соплах становится весьма существенным, а режим течения становится переходным от сплошного к свободномолекулярному.

Отзыв на автореферат Заведующего лабораторией проектирования рабочих элементов ракетно-космической техники Научно-исследовательского института прикладной математики и механики Томского государственного университета д.ф.-м.н., профессора Глазунова Анатолия Алексеевича, заверенный Ученым секретарем НИИПММ ТГУ Глазуновым А.А. Отзыв положительный. Из замечаний отмечено следующее, желательно исследовать динамику спутника относительно центра масс при влиянии возмущений на орбиту.

1. При решении задачи обтекания ионизации непонятно, учитывается ли амбиполярная диффузия. Учет этого процесса должен приводить к возрастанию коэффициентов диффузии заряженных компонент даже в случае квазинейтральной смеси.

2. При учете ионизации требуется дополнительное граничное условие на поверхности тела. Обычно используется условие отсутствия тока, но в тексте об этом ничего не сказано.



Отзыв на автореферат ведущего научного сотрудника НИИ механики МГУ им. М.В.Ломоносова Герасимова Геннадия Яковлевича, заверенный Ученым секретарем НИИ механики МГУ им. М.В.Ломоносова Рязанцевой Мариной Юрьевной.

Замечание. Расстояния между точками с максимальной амплитудой практически одинаковые и не меняются при измельчении расчетной сетки и близко к экспериментальным данным о продольном размере детонационных ячеек в стехиометрических водородно-воздушных смесях. В качестве замечания можно отметить, что в автореферате отсутствует объяснение данному факту.

Отзыв на автореферат Заместителя директора по научной работе Научного центра нелинейной волновой механики и технологии РАН, Чл.-корреспондента РАН, д.т.н., профессора Украинского Леонида Ефимовича. Отзыв положительный. Замечаний нет.

Отзыв на автореферат профессора кафедры “Автомобильные двигатели и сервис” ФГБОУ ВО КНИТУ-КАИ, д.т.н. Крюкова Виктора Георгиевича, заверенный Начальником управления делами ФГБОУ ВО КНИТУ-КАИ Берксоном С.Ю. Отзыв положительный. В качестве замечаний отмечено следующее:

- В автореферате не приводятся используемые в работе кинетические механизмы и, соответственно, не указаны границы их применения;
- Пошаговую процедуру расчета временного слоя (описанную в автореферате) желательно было бы представить в виде блок-схемы.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в отрасли наук, к которой относится диссертационная работа Гидаспова Владимира Юрьевича, что подтверждается наличием у них многочисленных публикаций по теме диссертации в рецензируемых изданиях за последние 5 лет.

Диссертационный совет отмечает, что наиболее существенные научные результаты, полученные лично соискателем, могут быть сформулированы следующим образом:



1. **Разработана** уточненная универсальная физико-математическая модель высокоскоростных течений многокомпонентного газа и частиц при наличии равновесных и неравновесных, описываемых многостадийными кинетическими механизмами, химических превращений в газовой фазе и на поверхности частиц, обеспечивающая переход системы в состояние термодинамического равновесия при условии неубывания энтропии.

2. **Разработан** сеточно-характеристический метод с явным выделением произвольного числа взаимодействующих разрывов для моделирования квазиодномерных нестационарных многофазных течений с физико-химическими превращениями в каналах. Метод позволяет на нерегулярных сетках рассчитывать течения смеси газов и частиц с явным выделением присутствующих в них сильных и слабых разрывов параметров, таких как ударные волны; контактные разрывы; звуковые характеристики, являющиеся границами вееров разрежения; граничные траектории распространения частиц и всех взаимодействий между ними. Сеточно-характеристический метод апробирован на задачах моделирования: высокоскоростных двухфазных течений, неравновесной гомогенной конденсации, детонации газовых и газочапельных смесей.

3. **Построены** вычислительные алгоритмы расчета состояния термодинамического равновесия многофазных многокомпонентных смесей, на базе которых была решена задача о распаде произвольного разрыва в многокомпонентной смеси газов с произвольными, термодинамически допустимыми уравнениями состояния. Для модели многокомпонентных смесей совершенных газов построено решение задачи о распаде произвольного разрыва в случаях: неизменности составов слева и справа от разрыва; когда составы удовлетворяют условиям термодинамического равновесия; когда по разные стороны от ударной волны (если она реализуется) состав может либо сохраняться, либо находиться в состоянии термодинамического равновесия.

4. **Проведена** модификация вычислительного алгоритма 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 многофазной смеси. Данный метод вошел в качестве элемента в сеточно-



характеристический метод, разработанный автором. Использовался при моделировании стационарных и нестационарных волн горения и детонации в горючих газовых, газокапельных и металлогазовых смесях. При решении прямой задачи теории сопла при наличии неравновесных химических превращений. В качестве элемента программных комплексов моделирования многомерных течений, используемых при расчете течений в камерах сгорания, соплах и струях двигателей, для моделирования задач горения, детонации, образования токсичных компонент и др.

5. **Получено** численное решения в автомодельной и неавтомодельной постановках задачи о распаде произвольного разрыва в детонирующем газе, в случае, когда продукты сгорания представляют собой смесь совершенных газов при учете равновесного и неравновесного протекания обратимых химических реакций. На примере численного моделирования детонации горючих смесей водорода с кислородом, разбавленных аргоном, **показано**, что в случае устойчивой детонации скорость детонационной волны и температура в зоне, примыкающей к головной ударной волне, полученные из решения уравнений нестационарной реагирующей газовой динамики, не зависят от механизма химических реакций, и стремятся к соответствующим значениям, полученным в результате решения автомодельной задачи о распаде разрыва в детонирующем газе.

6. **Получено** решение задачи о стационарной детонационной волне в канале переменного сечения со сверхзвуковым потоком на входе и выходе, для случая, когда горючая смесь и продукты сгорания представляют собой смесь совершенных газов и, когда течение до детонационной волны считается “замороженным”, а за детонационной волной “равновесным”. **Предложен** способ представления результатов численного моделирования в виде  $R-R$  диаграммы, которая позволяет ответить на вопрос: при каких соотношениях радиусов входного, критического и выходного сечений сопла при заданных параметрах потока на входе в сопло в нем существует решение со стационарной детонационной волной; и в каком сечении она расположена.

7. **Получены** решения в одномерной нестационарной постановке с использованием оригинального сеточно-характеристического метода задачи распада произвольного разрыва в многокомпонентных газокапельных смесях на границе



“инертный газ – горючая смесь” (“водород-воздух + капли воды”, “воздух + капли керосина”, “воздух+капли бензина”). **Определена** детальная картина течения, включающая образование, распространение и взаимодействие волн горения, ударных и детонационных волн, образование зон чистого газа, переход детонационных волн к режиму распространения со слабо меняющейся скоростью, а также ослабление и затухание детонации при впрыске капель воды.

8. **Исследована** тонкая структура стационарных детонационных волн в газовых, газокпельных и металлогазовых горючих смесях. В предположении, что продукты испарения участвуют в равновесных и неравновесных газофазных химических реакциях, а в случае металлогазовых смесей химические превращения протекают и на поверхности капель металлов и приводят к образованию окислов. В составе газовой фазы допускается наличие конденсированных компонент. **Получена** тонкая структура волн детонации и дефлаграции в горючих смесях (“водород-воздух”, “капли метанола-воздух”, “капли воды – водород-воздух”, “частицы алюминия, магния, бора – воздух”), включающая диапазон скоростей потока, при которых существует детонация и дефлаграция; расстояния, на которых происходит воспламенение горючей смеси, и устанавливается состояние, близкое к термодинамическому равновесию. При исследовании воздействия капель воды на детонацию **установлено** наличие режима течения, при котором детонация Чепмена-Жуге отсутствует, зависящего от массового содержания и начального диаметра капель воды. Для смесей “частицы алюминия – воздух” и “частицы бора – воздух” **установлено**, что переход от неравновесного состояния к равновесному протекает через достаточно продолжительное состояние частичного равновесия.

9. **Представлены** результаты численного моделирования с использованием уточненной квазихимической модели гомогенной конденсации. **Разработаны** алгоритмы расчета равновесных и неравновесных функций распределения кластеров по размерам. **Исследовано** влияние усечения бесконечной системы кинетики конденсации до конечной. **Получены** неравновесные функции распределения кластеров по размерам для аргона, меди, свинца, воды, серебра в условиях, характерных для технологических установок.

10. **Разработаны** вычислительные алгоритмы для расчета равновесного состава, решения уравнений химической кинетики, кинетики конденсации,



межфазного обмена импульсом и тепломассообмена, которые были интегрированы в программные комплексы многомерного моделирования и применены при решении задач физической динамики многофазных сред. С их использованием численно **исследованы**: детонация в модельных камерах сгорания и воспламенителях; загрязняющее воздействие кластеров свинца, образованных в результате гомогенной конденсации паров, в струях твердотопливных ракетных двигателей; процесс сгорания и эмиссионных характеристик керосино-воздушной газочастицной смеси; **проведены** расчеты тепловых потоков на стенки камеры сгорания двигателя, работающего на смеси водорода с кислородом; **проведено** численное моделирование обтекания летательного аппарата при движении с большой скоростью в атмосфере Земли.

**Научная и практическая значимость** работы состоит в том, что разработанные вычислительные алгоритмы и программы могут использоваться для экспресс-анализа реагирующих многофазных течений в энергетических и технологических установках, а также в качестве элементов в составе комплексов программ многомерного моделирования. Предложенные в диссертации методики математического моделирования позволяют рассчитывать многофазные течения с физико-химическими превращениями в каналах, использоваться при моделировании таких явлений как горение, детонация, конденсация, образование токсичных компонент, позволяют определять детальную картину протекания неравновесных физико-химических процессов от их инициирования до перехода в равновесное состояние.

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

**Личный вклад.** Все значимые результаты работы получены автором лично.

Диссертационная работа Гидаспова В.Ю. полностью удовлетворяет пунктам 9-14 “Положения о присуждении ученых степеней”, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. «О порядке присуждения ученых степеней», представляет законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, вносящее существенный вклад в механику жидкости, газа и плазмы.

На заседании 27 декабря 2019 года протокол № 19 диссертационный совет принял решение присудить Гидаспову Владимиру Юрьевичу ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 8 докторов наук по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы», участвовавших в заседании; из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за – 16 , против – нет , недействительных бюллетеней – нет .

Председатель

Диссертационного совета Д 212.125.14

д.ф.-м.н., профессор

П.С. Красильников

Ученый секретарь

Диссертационного совета Д 212.125.14

д.ф.-м.н., доцент

С.А. Колесник

27 декабря 2019 г.

И.о.начальника отдела УДС МАИ

Т.А. Аникина

