

Присутствовали: председатель диссертационного совета – д.ф.-м.н. Красильников П.С.,
ученый секретарь совета – д.ф.-м.н. Колесник С.А,
члены совета: д.ф.-м.н. Холостова О.В., д.ф.-м.н. Бардин Б.С., д.ф.м.н.
Бишаев А.М., д.ф.-м.н. Косенко И.И., д.т.н. Котельников В.А., д.ф.-м.н.
Котельников М.В., д.ф.-м.н. Маркеев А.П., д.ф.-м.н. Никитченко Ю.А.,
д.ф.-м.н. Ревизников Д.Л., д.ф.-м.н. Рябов П.Е., д.ф.-м.н. Формалев
В.Ф., д.т.н. Ципенко А.В., д.т.н. Черепанов В.В.

Всего присутствовало 15 чел.

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 21 человек.

Повестка дня: о приеме к защите диссертационной работы Гидаспова Владимира Юрьевича на тему «Математическое моделирование высокоскоростных многофазных течений с физико-химическими превращениями», представленной к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы» (физико-математические науки)

Слушали: профессора Формалева В.Ф. по диссертационной работе Гидаспова Владимира Юрьевича на тему «Математическое моделирование высокоскоростных многофазных течений с физико-химическими превращениями», представленной к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы» (физико-математические науки)

Экспертная комиссия полагает:

- Диссертационная работа Гидаспова Владимира Юрьевича на тему «Математическое моделирование высокоскоростных многофазных течений с физико-химическими превращениями», представленной к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы» (физико-математические науки) является законченной научной работой, посвященной разработке физико-математических моделей, вычислительных алгоритмов и комплексов программ для моделирования высокоскоростных многофазных течений с физико-

химическими превращениями.

- Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и отвечает всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ.

- **Результатами диссертации являются** оригинальные, научно обоснованные решения, внедрение которых вносит значительный вклад в ускорение научно-технического прогресса. Разработанные вычислительные алгоритмы моделирования многофазных течений с физико-химическими превращениями, модели термодинамики, кинетики химических и фазовых превращений, совместно с термодинамическим замыканием этих моделей, обеспечивают при неубывании энтропии непрерывный переход от неравновесного состояния системы к термодинамическому равновесию. Вычислительные алгоритмы обеспечивают нахождение решения в широком диапазоне термодинамических параметров и соотношений между компонентами, выполнение законов сохранения и выход на равновесное решение, что позволяет их использовать при многомерном моделировании в областях сложной геометрической формы и большим числом мест подачи компонентов.

Разработанный сеточно-характеристический метод позволяет получать детальные картины течения многофазных смесей в каналах для произвольных составов смесей и способах их подачи, при наличии ударных и детонационных волн, границ раздела между смесями с различными составами, свойствами и процессами в них протекающими, а также зон распространения частиц дисперсной фазы.

В уточненных постановках численно решен ряд автомодельных и одномерных задач:

- задача о распаде произвольного разрыва в многокомпонентной смеси газов с произвольными, термодинамически допустимыми, уравнениями состояния, для смеси совершенных газов в случаях, “замороженного”, “равновесного” и “равновесно-замороженного составов”;

- задача прохождения особой точки при решении прямой задачи теории сопла в одномерной постановке для многокомпонентного совершенного газа с химическими превращениями, описываемыми многостадийными кинетическими механизмами, при соблюдении

условия неубывания энтропии смеси;

- автоматической и неавтоматической 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. Получены решения при которых параметры получаемые при решении неавтоматической задачи близки к автоматическим;

- предложена *RR*-диаграмма для описания положения стационарной детонационной волны в канале переменного сечения со сверхзвуковым потоком на входе и выходе. Для случая, когда горючая смесь и продукты сгорания представляют собой многокомпонентную смесь совершенных газов, течение до детонационной волны считается "замороженным", а за детонационной волной "равновесным".

- **Прикладное значение результатов диссертации** 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. Определять детальную картину протекания неравновесных физико-химических процессов от их инициирования до выхода на равновесное состояние.

- **Результаты диссертации полностью отражены** в более 200 научных работах, из них 42 работы опубликованы в изданиях, рекомендованных Перечнем ВАК при Министерстве образования и науки РФ.

- Содержание автореферата полностью соответствует диссертации.

Автором получены следующие результаты:

1. Предложена комплексная физико-математическая модель высокоскоростных течений многокомпонентного газа и частиц для случая 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 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; характеристики, являющиеся границами вееров разрежения; граничные траектории распространения частиц; и всех взаимодействий между ними. В рамках модели многолистной газовой динамики в алгоритме реализован вариант бесстолкновительного пересечения траекторий частиц.

3. Разработаны вычислительные алгоритмы расчета состояния термодинамического равновесия многофазных многокомпонентных смесей. Численно решена задача о распаде произвольного разрыва в многокомпонентной смеси газов с произвольными, термодинамически допустимыми уравнениями состояния. Применительно к смеси совершенных газов решена задача о распаде разрыва для “замороженного”, “равновесного” и “равновесно-замороженного” составов.

4. Разработана модификация метода Пирумова для численного интегрирования жестких систем уравнений химической кинетики и межфазного обмена импульсом и тепломассообмена обеспечивающая автоматическое выполнение законов сохранения элементного состава. С ее использованием решены задачи моделирования детонации и многофазных течений в камерах сгорания, соплах и струях ракетных двигателей.

5. Разработан 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.

6. В автоматической и неавтоматической 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. Приведены примеры, когда нестационарные детонационные

волны выходят на стационарный режим распространения, соответствующий решению автомодельной задачи о распаде разрыва в детонирующем газе.

7. Решена задача о стационарной детонационной волне в канале переменного сечения со сверхзвуковым потоком на входе и выходе в случае, когда горючая смесь и продукты сгорания представляют собой смесь совершенных газов. В предположении о "замороженности" течения до детонационной волны и "равновесности" за ней, получены соотношения между радиусами входного, критического и выходного сечений каналов при которых реализуется стационарная детонационная волна.

8. В одномерной нестационарной постановке с использованием оригинального сеточно-характеристического метода численно исследована задача распада произвольного разрыва в многокомпонентных многофазных горючих смесях. Получена детальная картина течения, включающая процессы образования и распространения ударных и детонационных волн.

9. Исследована структура стационарных детонационных волн в газовых, газокapельных 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 тонкая структура волн детонации и дефлаграции. Используемая модель обеспечивает непрерывный переход параметров течения от неравновесного состояния к равновесному, т. е. точке на равновесной адиабате горючей смеси.

10. Развита квазихимическая модель гомогенной конденсации. Разработаны численные методы для расчета равновесных функций распределения как в стабильной, так и в метастабильной областях. Разработан уточненный метод и вычислительный алгоритм решения уравнений кинетики конденсации – численного расчета функции распределения кластеров по размерам, обеспечивающий корректный расчет кластеров со сверхмалыми концентрациями. 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 газовых смесей.

11. 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 и использованы при решении многомерных задач физической динамики многофазных сред (методики многомерных расчетов и программы разработаны соавторами при участии автора).

12. При непосредственном участии автора проведено численное моделирование детонации в модельных камерах сгорания и воспламенителях. Проведено численное моделирование загрязняющего воздействия кластеров свинца, образованных в результате гомогенной конденсации паров в струях твердотопливных ракетных двигателей, на полезную нагрузку. Проведено численное моделирование воспламенения и горения керосино-воздушной газочапельной смеси, а также эмиссионных характеристик. На основе результатов моделирования уточнена конфигурация проектируемой камеры сгорания. Рассчитаны тепловые потоки на стенки камеры сгорания двигателя, работающего на смеси водорода с кислородом. Решены задачи обтекания летательного аппарата при движении с большой скоростью в атмосфере Земли.

Перечисленные результаты являются новыми.

Диссертация соответствует профилю специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы» и может быть принята к защите на заседании диссертационного совета Д 212.125.14.

Выступили: д.ф.-м.н. проф. Ревизников Д.Л., д.т.н. проф. Котельников В.А.

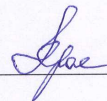
Постановили: 1. Утвердить в качестве официальных оппонентов по докторской диссертации Гидаспова Владимира Юрьевича следующих специалистов:

- Голуба Виктора Владимировича, доктора физико-математических наук, профессора заведующего лабораторией физической газовой динамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур РАН (ОИВТ РАН)
 - Маркова Владимира Васильевича, доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника отдела механики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Математического института им. В.А. Стеклова Российской академии наук (МИАН)
 - Стасенко Альберта Леонидовича, доктора технических наук, профессора, главного научного сотрудника Федерального государственного унитарного предприятия Центрального аэрогидродинамического института имени Н.Е.Жуковского (ЦАГИ)
2. Утвердить в качестве ведущей организации 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
3. Назначить дату защиты «27» декабря 2019 г.
4. Разрешить печать автореферата диссертации на правах рукописи.
5. Утвердить список адресов рассылки автореферата диссертации.

**Результаты
голосования:**

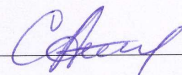
За: 15.
Против: нет.
Воздержались: нет.

Председатель
Диссертационного совета Д 212.125.14,
д.ф.-м.н., проф.



П.С. Красильников

Ученый секретарь
Диссертационного совета Д 212.125.14,
д.ф.-м.н., доцент



С.А. Колесник