

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора физико-математических наук, профессора

Кузнецова Михаила Михайловича

на диссертационную работу Тихоновец Алены Васильевны

"Разработка комбинированной физико-математической модели для описания течений высокой динамической неравновесности", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – "Механика жидкости газа и плазмы"

Диссертационная работа Тихоновец Алены Васильевны посвящена разработке физико-математических моделей течений высокой поступательной (динамической) неравновесности. В качестве теоретической основы работы положены методы молекулярно-кинетической теории газов. Рассматриваются однокомпонентные одно- и многоатомные газы.

Актуальность темы исследования

Современные разработки в области аэрокосмической техники, а так же ряда других отраслей промышленности требуют развития вычислительных методов газовых течений, в которых энергия теплового движения молекул существенно неравномерно распределена между их степенями свободы. Развитие технологий параллельных вычислений позволяет достаточно эффективно решать модельные кинетические уравнения и системы дифференциальных уравнений. Эти два обстоятельства обуславливают актуальность и привлекательность разработки физико-математических моделей течений на базе комбинации кинетических и сплошнородных методов описания динамики газовой среды.

Содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников (101 источник) и списка сокращений. Объем составляет 108 страниц, 70 рисунков.

Во введении автором обоснована актуальность темы и направления исследований, сформулированы основные цели и задачи работы, показаны научная новизна и ценность результатов, выносимых на защиту. Анализируются существующие разработки в области комбинированных и гибридных моделей. Выявлен основной недостаток большинства гибридных моделей течения многоатомных газов, заключающийся в том, что используемое кинетическое уравнение (БГК-уравнение) в слабо неравновесном течении не сводится к системе Навье-Стокса-Фурье.

В первой главе описаны гидродинамическая и кинетическая модели. Подробно представлен метод "сшивания" указанных моделей при использовании их как составных частей комбинированной кинетико-гидродинамической модели. Аналитически показано, что в первом приближении процедуры Чепмена-Энскога гидродинамическая модель строго соответствует моментным уравнениям, полученным из кинетической модели, с точностью до коэффициента объемной вязкости. Так же показано, что неравновесность течения целесообразно оценивать не по числу Кнудсена, а по произведению чисел Маха и Кнудсена.

Во второй главе приводится пример реализации разработанной модели для описания течений с преобладанием касательных напряжений. Решается плоская задача Куэтта. Расчеты проведены в широком диапазоне чисел Маха и Кнудсена. Во всем рассмотренном диапазоне для комбинированной модели получены гладкие профили газодинамических параметров. Отмечена высокая экономичность разработанной модели по отношению к чисто кинетическим решениям при малых числах Кнудсена.

В третьей главе приводится пример реализации разработанной модели для описания течений с высоким градиентом скорости потока. Решается задача о профиле плоской ударной волны. Приводятся рекомендации по обеспечению гладкого решения в области сшивания моделей. Описан, но не объяснен эффект улучшения решения в кинетической области комбинированной модели при возникновении разрыва производных в области сшивания.

В четвертой главе рассчитывается поле сверхзвукового течения в задаче обтекания сорбирующей пластины, установленной поперек потока. Предлагается оригинальная методика повышения вычислительной экономичности модельного кинетического уравнения. Демонстрируется слабая зависимость вычислительной экономичности комбинированной кинетико-гидродинамической модели от числа Кнудсена. Известный ранее эффект возрастания лобового сопротивления пластины при увеличении коэффициента поглощения ее лобовой поверхности в слаборазреженных газах, получен и для плотного газа.

В заключении диссертации подводятся итоги исследования, обсуждаются перспективы и направления дальнейших разработок, приводятся рекомендации по практическому применению разработанной кинетико-гидродинамической модели.

Достоверность и новизна полученных результатов.

Достоверность полученных результатов подтверждена сравнением расчетных данных с данными теоретических и экспериментальных исследований разных авторов.

Разработанная автором диссертации комбинированная физико-математическая модель неравновесного течения выгодно отличается от известных моделей этого класса прежде всего в отношении гладкости решения в области "сшивания" кинетической и гидродинамической

составляющих модели. Модель физически адекватно описывает течения как одноатомных, так и многоатомных однокомпонентных газов.

Научная и практическая значимость работы.

Разработанная физико-математическая модель течения позволяет на уровне молекулярно-кинетической теории газов описывать высоко неравновесные процессы, включая процессы хемосорбции и криоадсорбции на обтекаемых поверхностях. Практическое использование модели открывает новые возможности для решения целого ряда задач неравновесной газовой динамики.

Общая оценка диссертационной работы.

Область исследования диссертационной работы Тихоновец Алены Васильевны соответствует следующим направлениям паспорта научной специальности 01.02.05 – "Механика жидкости, газа и плазмы":

- течения сжимаемых сред и ударные волны.
- динамика разреженных газов и молекулярная газодинамика.
- аэродинамика и теплообмен летательных аппаратов.
- тепломассоперенос в газах и жидкостях.
- аналитические, асимптотические и численные методы исследования уравнений кинетических и континуальных моделей однородных и многофазных сред.

Диссертационная работа выполнена на актуальную тему. Материал диссертации изложен логично и аргументировано. Автореферат диссертационной работы и публикации автора полностью отражают содержание диссертации и соответствуют требованиям ВАК. Результаты работы с достаточной полнотой опубликованы. Существенным преимуществом диссертационной работы является прикладной характер разработанных физико-математических моделей. Результаты, полученные в ходе диссертационной работы, представляют практическую ценность.

Замечания по диссертационной работе:

1. Обтекание сорбирующей газ поверхности представлено в диссертационной работе только для сверхзвукового течения. Дозвуковые обтекания не менее интересны. Особый интерес представляет течение, создаваемое поглощающей поверхностью в неподвижном газе. В работе такие течения не рассмотрены.

2. Анализ влияния критерия неравновесности $M \cdot Kn$, проведенный для задачи о профиле ударной волны, следовало бы распространить и на пристеночные течения, расчету которых посвящена глава 2.

3. Представляется избыточным объем графических материалов, главы 3 (рис.13 - рис. 60). Графики, сгруппированные по числам Маха, следовало бы объединить по числам Кнудсена.

4. Имеет место ряд опечаток и неточностей:

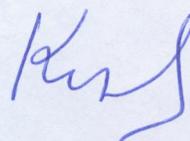
- на стр. 27 и стр.28 для модели Навье-Стокса-Фурье использована аббревиатура НСФ, в остальном тексте – NSF;
- в первом абзаце стр. 69 не согласовано время глаголов;
- в первом абзаце стр. 91 пропущен предлог "с";
- на стр.27, формула (26), вместо системы уравнений НСФ фигурирует равновесная весовая функция, хотя сама система записана верно на стр. 20.

Заключение

Диссертационная работа Тихоновец Алены Васильевны " Разработка комбинированной физико-математической модели для описания течений высокой динамической неравновесности" представляет собой законченное научное исследование, посвященное решению актуальной задачи, характеризующееся научной новизной и практической ценностью. Диссертационная работа выполнена с использованием современных методов аналитического и численного исследования, написана квалифицированно и аккуратно оформлена.

Диссертационная работа соответствует требованиям ВАК РФ, а ее автор, Тихоновец Алена Васильевна, заслуживает присвоения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 - "Механика жидкости, газа и плазмы"

Официальный оппонент,
профессор кафедры теоретической физики МГОУ,
доктор физико-математических наук, профессор



М.М.Кузнецов

Государственное образовательное учреждение высшего образования Московской области
«Московский государственный областной университет»,
141014, Московская область, г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, д. 24,
телефон (495) 780-09-40 (доб.1112),
e-mail: kaf-tfiz@mgou.ru

Подпись
удостоверяю

