

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора физико-математических наук, профессора

Кузнецова Михаила Михайловича

на диссертационную работу Красавина Егора Эдуардовича

"Разработка физико-математической модели высокоскоростного обтекания поверхностей большой кривизны", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – "Механика жидкости газа и плазмы"

Диссертационная работа Красавина Егора Эдуардовича посвящена разработке методов расчета обтекания поверхностей большой кривизны высокоскоростными потоками. В качестве базовой модели течения используется модель Навье-Стокса-Фурье (НСФ). Анализа результатов проводится на базе модельного кинетического уравнения (МКУ). Таким образом, в исследовании рационально сочетаются теория сплошной среды и молекулярно-кинетическая теория газов.

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. К числу таких течений относятся обтекания поверхностей большой кривизны, или в терминологии автора работы – острых кромок умеренными сверхзвуковыми потоками.

Экспериментальные и теоретические данные показывают, что даже при умеренных сверхзвуковых числах Маха поступательная неравновесность газовой среды в окрестности поверхности большой кривизны очень велика. Численные расчеты с использованием моделей механики сплошной среды, например модели НСФ, в традиционной их численной реализации могут приводить к значительным погрешностям.

Разработка новых методов обтеканий поверхностей большой кривизны представляется весьма актуальной задачей.

Содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников (86 источников) и списка сокращений. Объем составляет 100 страниц, 28 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 работы в области описания обтекания тонкой пластины и клина. Большое внимание уделено работам, в которых гидродинамические модели течения сравниваются с кинетическими моделями, использующие различные МКУ и статистические методы.

В первой главе приводятся моментные уравнения неравновесных напряжений и теплового потока. Решается задача о профиле плоской ударной волны с использованием моделей НСФ и МКУ. Проводится анализ членов моментных уравнений, вычисленных с помощью МКУ и их сравнение с профилями, даваемыми моделью НСФ. Наглядно, в количественной форме показан эффект заужения возмущенной области моделью НСФ. Делается вывод о том, что в сильно неравновесных течениях неравновесные напряжения и тепловые потоки в значительной степени определяются процессами, не учитываемыми моделью первого приближения – моделью НСФ

Во второй главе проводится расчет обтекания пластины со скругленной носовой частью потоком двухатомного газа в широком диапазоне чисел Кнудсена. Для расчетов используется модель НСФ и двухтемпературная модель (М2Т). Отличие моделей заключается в описании энергообмена между поступательными и внутренними степенями свободы молекул. Показано, что в задачах обтекания поверхностей большой кривизны верхним пределом числа Кнудсена является $Kn=10^{-2}$. Расширение диапазона чисел Кнудсена до $Kn=10^{-1}$, что имеет место в ряде задач, нецелесообразно.

В третьей главе предложен оригинальный метод расчета обтекания абсолютно тонкой пластины с использованием модели НСФ. В данном методе на носовой части пластины искусственным образом располагается точка торможения, точнее – элементарная площадка, внешняя нормаль которой направлена против потока. Решение системы дифференциальных уравнений на линии тока, расположенной вдоль поверхности пластины, производится в два этапа: с учетом точки торможения и без нее. Затем полученные решения объединяются с некоторым весовым коэффициентом. Здесь же использован оригинальный метод внесения граничных условий на твердой поверхности в систему дифференциальных уравнений.

Предложенная модель позволила существенно улучшить распределение давления по поверхности пластины. В меньшей степени получено улучшение распределений плотности и температуры.

В четвертой главе проведена оценка степени неравновесности течения в окрестности острой кромки и в плоской ударной волне с соответствующим числом Маха. Степень

неравновесности определена как отношение неравновесной энергии теплового движения к ее средней величине. Показано, что степень неравновесности течения вблизи кромки примерно вдвое выше, чем в плоской ударной волне.

В заключении диссертации подводятся итоги исследования, обсуждаются перспективы и направления дальнейших разработок, приводятся рекомендации по практическому применению разработанного метода расчета обтекания острой кромки.

Достоверность и новизна полученных результатов.

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

Разработанный автором диссертации метод расчета обтекания острой кромки выгодно отличается от известных методов. Полученные в диссертации рекомендации и оценки в количественной форме убедительны и оригинальны.

Научная и практическая значимость работы.

Полученные в диссертации рекомендации и оценки представляют научный интерес с точки зрения анализа модельных кинетических уравнений. Предложенный автором метод расчета обтекания острой кромки имеет существенное практическое значение для разработки пакетов прикладных программ.

Общая оценка диссертационной работы.

Область исследования диссертационной работы Красавина Егора Эдуардовича соответствует следующим направлениям паспорта научной специальности 1.1.9 – "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 полученных рекомендаций и разработанного метода расчета обтекания поверхностей большой кривизны.

Замечания по диссертационной работе:

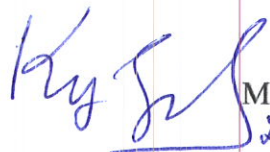
1. На схеме задачи об обтекании тонкой пластины (рис. 19) не указаны, фигурирующие в тексте номера контрольных узлов вычислительной сетки.
2. При сравнении ширины профиля различных параметров не учтено, что используемое модельное кинетическое уравнение дает несколько расширенные профили, хотя это не сказывается на сделанных в главе выводах.
3. Имеет место ряд опечаток и неточностей, например на с. 58 температура поверхности представлена в относительных единицах. Из текста не понятно к какой величине отнесена эта температура.
4. На графиках распределения плотности, температуры и давления, полученных традиционными методами решения (рис. 12 ... рис.17), целесообразно нанести кривые, полученные другими авторами.

Заключение

Диссертационная работа Красавина Егора Эдуардовича "Разработка физико-математической модели высокоскоростного обтекания поверхностей большой кривизны" 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, Красавин Егор Эдуардович, заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 - "Механика жидкости, газа и плазмы"

Официальный оппонент,
профессор кафедры "Фундаментальной физики
и нанотехнологии" ГУЦ,
доктор физико-математических наук, профессор

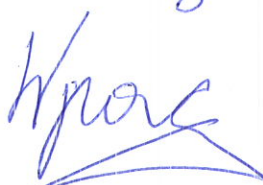

М.М.Кузнецов
28.11.2024

ФГАОУ «Государственный университет просвещения»,
141014, Московская область, г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, д. 24,
телефон (495) 780-09-09

Подпись
удостоверяю

Ведущий специалист
отдела кадров
Оконова В.В.



С отзывом ознакомлен
05.12.24
 Красавин Е.Э.