

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель Генерального
директора Государственного научного
центра Федеральное автономное
учреждение «Центральный
аэрогидродинамический институт имени
профессора Н.Е. Жуковского»,
д.ф.-м.н., профессор РАН

Медведский Александр Леонидович

2024 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию

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).

Актуальность темы исследования:

Современные аэрокосмические, вакуумные и нанотехнологии, а также ряд других областей техники нуждаются в совершенствовании вычислительных методов и математических моделей течений газа в широком интервале значений плотности, скорости, температур, чисел Маха и Кнудсена. Особенностью ряда газодинамических процессов является их существенная неравновесность, обусловленная быстрыми изменениями параметров газа, т.е. малым временем протекания этих процессов.

В неравновесной газовой среде энергия неравномерно распределена между степенями свободы молекул, как поступательными, так и внутренними. Исследование таких неравновесных состояний представляет большие математические трудности, а разработка методов описания неравно

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«10» 12 2024 г.

оказывается в числе наиболее актуальных задач современной аэромеханики и газовой динамики.

Самостоятельной и весьма актуальной задачей является проблема описание высокоскоростного обтекания поверхностей большой кривизны (острых кромок). Такие поверхности имеют место, например в конструкциях воздухозаборников летательных аппаратов, рабочих органов компрессорных и вакуумных установок и т.п..

В окрестности острой кромки возникают высоко неравновесные течения даже при умеренных числах Маха. Детальное описание физических процессов требует применения моделей молекулярно кинетической теории газов, что практически не реализуемо при малых числах Кнудсена.

Применение моделей механики сплошной среды, например модели Навье-Стокса-Фурье, приводит к большим погрешностям расчетов, а часто – к физически неадекватным результатам.

Основной задачей диссертационной работы Красавина Е.Э. является определение области применимости моделей механики сплошной среды для описания обтекания острых кромок и разработка метода расчета таких течений, ориентированного на практическое использование.

Таким образом, актуальность темы исследований Красавина Е.Э. не вызывает сомнений.

Научная новизна:

В представленной работе дана количественная оценка степени неравновесности течения в окрестности острой кромки. Определена верхняя граница применимости модели Навье-Стокса-Фурье по числам Кнудсена. Разработан метод расчета течения в окрестности абсолютно острой кромки с использованием модели Навье-Стокса-Фурье.

Теоретическая и практическая значимость исследований:

Разработанный соискателем метод расчета обтекания абсолютно острой кромки позволяет изучать достаточно тонкие процессы, протекающие на поверхности обтекаемого тела, содержащего такую кромку. Оценки и рекомендации, полученные в процессе исследований, могут быть использованы при разработке вычислительных ядер CFD-пакетов прикладных программ.

Достоверность результатов:

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

Объём и структура диссертации:

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы списка сокращений и условных обозначений. Общий объём составляет 100 страниц, включая 28 рисунков. Библиографический список содержит 86 наименований.

Во **введении** раскрыта актуальность разработки методов описания течений газовой динамики, показана степень разработанности темы, сформулированы цель и задачи работы, выделены объект и предмет исследования, показана научная и практическая значимость работы, представлена апробация и внедрение результатов.

В **первой главе** рассматриваются особенности применения модели Навье-Стокса-Фурье для описания течений высокой степени неравновесности. Проведен анализ расчетов сильно неравновесных течений с помощью модели Навье-Стокса-Фурье в ее классическом виде. Выявлено, что некоторые величины становятся соизмеримы по порядку величины с основными газодинамическими переменными в сильно неравновесных течениях.

Во **второй главе** рассматривается сверхзвуковое обтекание двухатомным газом пластины бесконечного размаха, установленной параллельно набегающему потоку. Носик пластины скруглен. Радиус скругления характеризует число Кнудсена Kn решаемой задачи. Проведена оценка максимального значения Kn , при котором решения для модели Навье-Стокса-Фурье и двухтемпературной модели практически совпадают.

В **третьей главе** предложен метод расчета обтекания абсолютно тонкой пластины бесконечного размаха, установленной под нулевым углом атаки. Оригинальность метода заключается во внесении точки торможения на острую кромку и в формулировке граничных условий скольжения погранслоя на поверхности пластины.

В **четвертой главе** приведена оценка степени неравновесности течения в окрестности носика тонкой пластины и в плоской ударной волне. Показано, что при равных числах Маха степень неравновесности в окрестности носика примерно вдвое превышает этот параметр в плоской ударной волне.

В заключении в компактной форме приводятся основные результаты работы.

Замечания:

1. В первой главе коэффициент объемной вязкости представлен моделью Берда. В остальных главах использована более простая модель. В работе отсутствует обоснование таких различных подходов.

2. Во второй главе сравниваются решения модели Навье-Стокса-Фурье и двухтемпературной модели. Полная система уравнений двухтемпературной модели не приведена, показаны только уравнения энергии.

3. В описании схем численного решения задач используется символика программных текстов одновременно с традиционной математической символикой записи параметров, что существенно затрудняет чтение текста.

4. На рис. 19 не показана нумерация узлов вычислительной сетки, хотя в тексте диссертации используются ссылки на номера этих узлов.

5. В тексте диссертации замечен ряд опечаток и неточностей.

Заключение:

Диссертация является научной работой, выполненной автором самостоятельно на высоком научном уровне. Диссертационная работа содержит достаточное количество данных, рисунков, графиков, примеров. По каждой главе и работе в целом имеются выводы. Основные этапы работы, выводы и результаты представлены в автореферате. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему и соответствует «Положению о порядке присуждения ученых степеней». Диссертация отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Красавин Егор Эдуардович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Отзыв подготовил д.ф.-м.н., доцент Горелов Сергей Львович. Диссертация и отзыв рассмотрены и одобрены на заседании научного семинара Сектора №11 «Неравновесные течения разреженного газа и плазмы», Отделения №8 «Аэротермодинамика гиперзвуковых течений» ФАУ ЦАГИ.

Начальник Сектора № 11

к.ф.-м.н., доцент

Здор Александр Геннадиевич

Автор отзыва:

ведущий научный сотрудник Сектора № 11

д.ф.-м.н., доцент

Горелов Сергей Львович

02.12.2024

Государственный научный центр

Федеральное автономное учреждение

“Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского”

Почтовый адрес: 140180, Россия, г. Жуковский, Московская область, ул. Жуковского, 1.

Телефон: 8 (495) 556-41-70, факс: 8 (495) 777-63-32

Эл. почта автора отзыва: e-mail: gorelovsl@yandex.ru

С отзывом ознакомлен 10.12.24
Крас Красавин Е.Е.