

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Алексева Ильи Владимировича на тему: «Ударные волны в вязких неравновесных течениях углекислого газа», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы

Многообразие и сложность технических проблем, связанных с проектированием и созданием гиперзвуковых летательных аппаратов, приводят к необходимости проведения исследований в области аэродинамики и теплообмена при помощи средств математического моделирования. Примером таких течений служит обтекание сверхзвукового летального аппарата или течение вблизи спускаемого космического аппарата, входящего в атмосферу. Необходимым условием для успешного применения численных методов к расчету течений около высокоскоростных летательных аппаратов является верификация применяемых вычислительных алгоритмов. Исследования в области структуры ударных волн представляет интерес развития и оценки оценки теоретических и численных методов, используемых в динамике разреженного газа.

Диссертационная работа Алексева И.В. посвящена численному моделированию ударных волн в вязком теплопроводном углекислом газе в одно-, двух- и трехтемпературных приближениях. В рамках диссертационного исследования проводится сравнение различных приближений, а также результатов моделирования для различных параметров набегающего потока. Необходимость создания математических и численных моделей, учитывающих влияние высокотемпературных эффектов на обтекание летательных аппаратов, а также трудности постановки физического эксперимента, определяют **актуальность темы** диссертационной работы.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке эффективных самосогласованных моделей кинетики и гидродинамики вязкого теплопроводного углекислого газа, предназначенных для описания ударных волн в одно-, двух-, трехтемпературных приближениях с учетом нескольких каналов колебательной релаксации молекул углекислого газа, сдвиговой и объемной вязкости, теплопроводности. В работе проведено сравнение решений, полученных в рамках многотемпературных подходов Эйлера и Навье–Стокса. Показано, что профили значительно отличаются вблизи фронта ударной волны, однако с увеличением расстояния от фронта они дают сходное описание релаксационных процессов. Хорошее согласование полученных результатов

численного моделирования с имеющимися экспериментальными и численными данными в широком диапазоне параметров, определяет *достоверность полученных результатов*.

Практическая значимость диссертационной работы обусловливается необходимостью разработки средств численного моделирования для повышения точности прогнозирования течений с ударными волнами в многоатомных газах. В рамках диссертационного исследования Алексеевым И.В. разработано программное обеспечение для реализации расчета плоской ударной волны в вязких многоатомных газах в одно-, двух-, трехтемпературных приближениях. Реализованы различные численные методы для моделирования ударной волны в вязком, теплопроводном многоатомном газе на основе расширенных уравнений гидродинамики. Даны рекомендации по выбору численного метода, методу расчета потоков и размеру шага сетки применительно к задаче о структуре ударной волны. Получено свидетельство о государственной регистрации программного комплекса.

Личный вклад автора диссертации заключается в разработке математических моделей, написании программного кода для решения задач с использованием современных компьютерных технологий, постановке задач, проведении расчетов и интерпретации их результатов.

Следует отметить *достаточную апробацию* диссертационной работы. Основные результаты работы представлены в трудах российских и международных научных конференций и семинаров, в зарубежных научных журналах на английском языке, в российских рецензируемых научных журналах и изданиях (в том числе, в журналах из списка ВАК).

ЗАМЕЧАНИЯ:

1. В главе 2 на странице 54 утверждается, что для расчетов используются уравнения Навье–Стокса–Фурье, которые имеют параболический тип. В этой связи необходимо уточнить, применяются ли в расчетах параболизированные уравнения Навье–Стокса, учитывающие наличие преимущественного направления развития потока. В общем случае уравнения Навье–Стокса в зависимости от скорости (числа Маха) имеют смешанный тип.
2. При описании результатов численного моделирования автором рассматривается некоторое множество входных параметров задачи (давление, температура, число Маха и т.д.). При этом было бы полезным указать, какой высоте полета летательного аппарата эти условия соответствуют. Выбор некоторых «магических» значений для начальных/граничных условий задачи требует пояснений.
3. На всех рисунках следует указать, какие экспериментальные данные на нем приводятся. Это в существенной степени облегчило бы чтение диссертационной работы и анализ ее результатов.
4. Не следует путать патенты и свидетельства о регистрации программы для ЭВМ. Это разные способы защиты результатов интеллектуальной деятельности.

Диссертация Алексева Ильи Владимировича на тему: «Ударные волны в вязких неравновесных течениях углекислого газа» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Алексей Илья Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не установлены.

Член диссертационного совета

Доктор физико-математических наук



Волков К.Н.

Дата

21 ноября 2022 г.