



МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственный научный центр Российской Федерации
Федеральное государственное унитарное предприятие
**«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени профессора Н.Е.Жуковского»
ФГУП «ЦАГИ»**

140180 Московская обл., г. Жуковский, ул. Жуковского, д. 1
тел.: (495)556-4205, факс: (495)777-6332
E-mail: <http://www.tsagi.ru>
ОКПО 07542112, ОГРН 1025001624471
ИНН / КПП 5013009056/504001001

18.11.2020 № АМ 40/8-10-9520

На № _____

Уважаемый Павел Сергеевич!

Направляю отзыв нашей организации, утвержденной в качестве ведущей, по диссертации Тихоновец Алены Васильевны на тему «Разработка комбинированной физико-математической модели для описания течений высокой динамической неравновесности», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 01.02.05 - Механика жидкости, газа и плазмы в Диссертационном совете Д 212.125.14 при ФГБОУ ВО «МАИ (национальный исследовательский университет)».

Диссертация и отзыв рассмотрены и одобрены на заседании научного семинара Сектора №11 «Неравновесных течений разреженного газа и плазмы», Отделения №8 «Аэротермодинамики гиперзвуковых течений» ФГУП ЦАГИ.

Приложение: Отзыв на 5 листах, 2 экз.

Первый заместитель
Генерального директора

С. Горелов

А. Л. Медведский

А. Л. Медведский

Исп.: Горелов С.Л.
Тел.: 8(495) 556-49-21

Горелов

Отдел документационного
обеспечения МАИ

20.11.2020

007651

УТВЕРЖДАЮ

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

Медведский Александр Леонидович

2020 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию

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).

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.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

20.11.2020

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

Проблема постановки граничных условий на твердой поверхности для уравнений вязкого теплопроводного газа становится весьма актуальной в случае гиперзвуковых и умеренно разреженных течений. Сильный разогрев поверхностей, возникающий, например, при гиперзвуковом обтекании летательного аппарата, активизирует хемосорбционные процессы на его поверхности.

Технологии получения химически чистых веществ широко используют конденсацию отдельных компонент газовой смеси на охлаждаемых, часто – криогенных, поверхностях разделительной установки.

Таким образом, актуальность темы исследований Тихоновец А.В. не вызывает сомнений.

Научная новизна:

Разработана комбинированная физико-математическая модель течения многоатомного газа, обеспечивающая гладкое решение в области сшивания кинетической и гидродинамической составляющей, что является существенным преимуществом разработанной модели перед ранее известными моделями.

Сформулированы условия гладкости решения.

Предложен оригинальный метод решения кинетической составляющей комбинированной модели, позволяющий существенно сократить необходимый объем оперативной памяти вычислительного устройства.

Рассчитано поле течения вблизи поглощающей газ поверхности при малых числах Кнудсена, практически недоступных для чисто кинетических моделей течения.

Теоретическая и практическая значимость исследований:

Разработанная соискателем физико-математическая модель, позволяет изучать достаточно тонкие процессы, протекающие в газовой среде, а также на границе раздела фаз газ - твердая поверхность. Применение методов молекулярно-кинетической теории в областях с высокой динамической неравновесностью позволяет адекватно описывать такие параметры газа, как девиатор напряжений и тепловой поток.

Оригинальный метод решения кинетического уравнения, предложенный в диссертации, позволяет существенно смягчить требования к вычислительным средствам.

Физико-математическая модель течения и метод ее численной реализации могут быть использованы при разработке вычислительных ядер CFD-пакетов.

Достоверность результатов:

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

Объем и структура диссертации:

Общий объем диссертации составляет 108 страниц, 101 наименование работ, 70 рисунков, и состоит из введения; четырех глав; заключения, библиографического списка и списка сокращений и условных обозначений.

Во **введении** приводится краткая характеристика современного состояния проблемы математического моделирования высоко неравновесных течений в широком диапазоне чисел Маха, Кнудсена, Рейнольдса. Описаны и проанализированы основные комбинированные и гибридные модели.

В **первой главе** кратко описаны кинетическая и гидродинамическая модели, а также метод их сшивания. Показано, что модель Навье-Стокса-Фурье

является строгим первым приближением модельного кинетического уравнения многоатомных газов.

В **второй главе** приведены решения одномерной задачи о плоском течении Куэтта с использованием разработанной комбинированной кинетико-гидродинамической модели.

В **третьей главе** представлено решение задачи о структуре плоской ударной волны с использованием указанной выше модели. Проведен анализ гладкости решения. Сформулированы рекомендации для обеспечения гладкого решения.

В **четвертой главе** решается задача обтекания тонкой пластины с поглощающей поверхностью. Описана методика численного решения, позволяющая повысить экономичность вычислительного процесса. Приведены поля течений для сверхзвуковых обтеканий.

В **заклучении** в компактной форме приводятся основные результаты работы.

Замечания:

1. В работе не представлены конкретные примеры реализации методики повышения экономичности вычислительного процесса.
2. Не рассмотрены решения нестационарных задач.
3. В тексте диссертации замечены следующие опечатки и неточности:
 - стр.3, абзац 2: пропущен пробел перед скобкой;
 - стр.8, абзац 1: пропущена запятая перед союзом "и";
 - стр.30, абзац 1: лишняя запятая перед союзом "и";
 - стр.34, абзац 1: лишняя запятая.

Заклучение:

Диссертация является научной работой, выполненной автором самостоятельно на высоком научном уровне. Диссертационная работа содержит достаточное количество данных, рисунков, графиков, примеров. По каждой главе

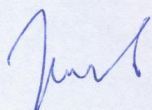
и работе в целом имеются выводы. Основные этапы работы, выводы и результаты представлены в автореферате. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему и соответствует «Положению о порядке присуждения ученых степеней». Диссертация отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Тихоновец Алена Васильевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – 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” ФГУП ЦАГИ.

Автор отзыва:

Ведущий научный сотрудник Сектора № 11

д.ф.-м.н., доцент

 16.11.20

Горелов Сергей Львович

Государственный научный центр

Федеральное государственное унитарное предприятие

“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