

## ОТЗЫВ

официального оппонента

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 диссертации.**

Исследования неравновесных газодинамических процессов представляют большой интерес не только для научного сообщества, но и в связи с тем, что такие процессы реализуются в различных технологических приложениях. В частности, в настоящее время новые знания необходимы при проектировании гиперзвуковых летательных аппаратах и разработке двигательных установок для них, в лазерной технике и т.п. Так же неравновесные процессы встречаются в природных системах, например, при взаимодействии в верхних слоях атмосферы Земли с солнечным излучением. Экспериментальные методы исследования сопряжены с большими финансовыми затратами и техническими трудностями построения опытных установок. Большое распространение получили методы математического моделирования, которые позволяют получить подробную картину о кинематических, теплофизических и химических характеристиках изучаемого процесса и построить необходимые критериальные зависимости, что существенно снижает объем экспериментальных исследований. При этом математическое моделирование неравновесных физико-химических процессов требует решения уравнений механики газов и плазмы наряду с адекватным описанием системы на микроуровне, характеризующим процессы взаимодействия электронов, возбужденных молекул атомов, ионов. Следовательно диссертация Тихоновец А.В., посвященная разработке физико-математической модели, объединяющей кинетическое и гидродинамическое описание течения, является актуальной для изучения неравновесных процессов тепломассообмена в газах.

### **Оценка содержания диссертационной работы.**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемой литературы включающего 101 наименование. Общий объем рукописи составляет 108 страниц и включает 70 рисунков.



Во **введении** обоснована актуальность диссертационной работы, представлено современное состояние в области исследования, сформулирована цель и задачи, аргументирована научная новизна и практическая значимость результатов, представлены выносимые на защиту положения, описана методология исследования.

В **первой главе** представлена комбинированная математическая модель течения многоатомного газа, предполагающая применение кинетической модели в сильно неравновесных областях поля течения и гидродинамической модели – в остальных областях. Предложен алгоритм решения и описан метод сшивания кинетической и гидродинамической моделей.

Во **второй главе** представлены результаты исследования плоского течения Куэтта, полученные с использованием гидродинамического, молекулярно-кинетического и комбинированного подходов, проведено их сравнение по точности расчетов и затратности вычислительных ресурсов.

В **третьей главе** выполнено тестирование разработанного численного алгоритма на примере одномерной задачи об ударной волне. Обсуждаются вопросы гладкости полученных решений.

**Четвертая глава** посвящена решению задачи обтекания пластины, лобовая поверхность которой поглощает набегающий поток газа. Описана методика сшивания гидродинамической и кинетической моделей, проведены тестовые расчеты.

В **заключении** сформулированы основные результаты и выводы диссертации.

#### **Общая методология и методика исследования.**

По содержанию и основным результатам диссертация Тихоновец А.В. соответствует направлению «Вычислительная гидродинамика», которое является составной частью специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы. Результаты, представленные в диссертации, получены с применением современных численных методик, как традиционных, так и оригинальных, разработанных и реализованных автором работы.

**Степень достоверности и обоснованность результатов диссертационной работы.**

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивается формулировкой математических моделей, адекватно описывающих рассматриваемые физические процессы, и подтверждается тестовыми расчетами.

#### **Научная новизна исследования.**

Основной положительной стороной работы является попыткой объединения молекулярно-кинетического и гидродинамического подхода при численном



моделировании неравновесных течений однокомпонентных многоатомных газов. Используя разработанный алгоритм, соискатель получил результаты, соответствующие критерию новизны, что подтверждается публикациями статей в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикации материалов кандидатских диссертаций, а также в трудах конференций, различных уровней. Наиболее значимые результаты:

- разработана оригинальная комбинированная физико-математическая модель течения многоатомного газа, обеспечивающая гладкое решение в области сшиваия кинетической и гидродинамической составляющей;

- предложен новый метод решения кинетической составляющей комбинированной модели, позволяющий существенно сократить необходимый объем оперативной памяти вычислительного устройства.

#### **Замечания по диссертационной работе.**

1. Отмечу несколько небрежностей, допущенных при оформлении работы. При записи выражений для напряжений на стр. 39 и 73 присутствуют опечатки. Название третьей главы не соответствует ее содержанию.

2. Автор работы часто приводит качественные показатели эффективности использования комбинированной схемы с точки зрения использования вычислительных ресурсов, но отсутствуют конкретные ее оценки. Так же отсутствует информация о величине шага вычислительной сетки и обоснования его выбора.

3. Сравнение данных численного моделирования проводится с экспериментальными работами, датированными 1966 и 1976 годами. Хотелось бы видеть проверку достоверности на более современных экспериментальных результатах.

В целом, сделанные замечания не снижают научную и практическую значимость результатов и не могут повлиять на положительную оценку диссертационной работы Тихоновец А.В.

**Заключение.** Диссертация и автореферат написаны ясным научным языком, а результаты хорошо проиллюстрированы. Можно заключить, что диссертация Тихоновец А.В. «Разработка комбинированной физико-математической модели для описания течений высокой динамической неравновесности», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы, соответствует паспорту специальности, имеет теоретический характер и может рассматриваться как научная квалификационная работа, в которой представлена и протестирована оригинальная комбинированная вычислительная методика расчета неравновесных течений многоатомных газов. Работа



имеет теоретическое значение для развития механики жидкости и газа и практическое значение для исследования неравновесных течений, реализующихся в различных технических системах. Результаты работы обсуждены на трех международных конференциях и с достаточной полнотой опубликованы в трех печатных работах, входящих в перечень ВАК. Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание.

Диссертационная работа А. В. Тихоновец «Разработка комбинированной физико-математической модели для описания течений высокой динамической неравновесности» является законченным научным исследованием. Диссертация удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., № 842 (в редакции от 01.10.2018), 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.

Доцент кафедрой прикладной  
газовой динамики и горения  
Национального исследовательского  
Томского государственного университета,  
кандидат физико-математических наук  
(01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы)

Борзенко Евгений Иванович

11.11.2020г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»

Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

Тел.(382-2) 529-585;

E-mail: rector@tsu.ru;

Сайт: <http://www.tsu.ru>



ПОДПИСЬ

ПРОВЕРЯЮ

СЕКРЕТАРЬ ТГУ

Н. А. САЗОНОВА