

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Гориховского Вячеслава Игоревича на тему: «Эффективные вычислительные подходы к моделированию кинетики углекислого газа», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы

Исследование неравновесных процессов в потоках углекислого газа и их влияния на параметры течений необходимо для решения задач космической аэродинамики. Использование кинетической теории газов позволяет строить и замыкать математические модели течения в условиях различных отклонений от равновесия. В диссертационной работе Гориховского В.И. рассматриваются вопросы, связанные с разработкой и применением моделей неравновесной кинетики, основанных на полном поуровневом и гибридном четырехтемпературном приближении. Реализация таких моделей, повышение производительности соответствующих численных моделей и создание соответствующих программных средств определяют **актуальность темы** диссертационной работы.

В работе производится разработка нейросетевого подхода для повышения производительности расчета скоростей колебательной релаксации в различных модах углекислого газа; реализация разработанного подхода и оценка его эффективности. Проводится поэтапная оптимизация численного моделирования неравновесных течений с использованием поуровневого приближения, а также анализ точности и производительности нейросетевого подхода при численном моделировании неравновесных течений углекислого газа с несколькими механизмами колебательной релаксации. Указанные положения определяют **научную новизну** диссертационной работы.

Возможность применения разработанных средств математического моделирования для расчета входа космических аппаратов в атмосферу Марса, основным компонентом которой является углекислый газ, определяют **практическую значимость** диссертационного исследования. С практической точки зрения, получение надежных сведений о характере колебательной релаксации и роли межмодового обмена необходимо при создании технологий снижения содержания углекислого газа в атмосфере. Разработан программный код для численного моделирования неравновесных течений углекислого

газа, в котором реализованы параллельные алгоритмы и нейросетевой подход к вычислению скорости колебательной релаксации различных мод.

Использование строгих теоретических моделей неравновесных течений, основанных на кинетической теории газов, и хорошо апробированных численных методов решения жестких систем дифференциальных уравнений определяет *достоверность полученных результатов*. Результаты расчетов демонстрируют хорошее согласование с имеющимися литературными данными, полученными при помощи различных подходов.

*Личный вклад автора* диссертации заключается в построении регрессионных моделей коэффициентов скорости переходов колебательной энергии, разработке вычислительных схем, развитие нейросетевых подходов, разработке и реализация программного кода, анализе результатов численного моделирования.

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. Для решения линейных систем в работе используется метод простой итерации. Достоинства и недостатки этого метода хорошо известны. Вместе с тем, в работе отсутствует обоснование выбора метода простой итерации для решения задач в выбранной тематической области. Представляется необходимым привести дополнительное обоснование такого выбора по сравнению с более мощными и производительными подходами к решению систем линейных уравнений.

2. Разработанные автором подходы применены для численного моделирования течения углекислого газа за плоской ударной волной при различных числах Маха набегающего потока. При этом хотелось бы услышать мнение автора о том, во сколько раз увеличится число операций при использовании разработанного подхода для решения двух- и трехмерных задач, и оказывается ли на это влияние применение методов машинного обучения.

3. Оформление списка литературы остается не вполне понятным, поскольку публикации приводятся не в алфавитном порядке на русском и английском языках.

Диссертация Гориховского Вячеслава Игоревича на тему: «Эффективные вычислительные подходы к моделированию кинетики углекислого газа» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Гориховский Вячеслав Игоревич 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.