

## ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

о диссертации Шакуровой Лии Алимджановны

«Эффекты скольжения в смесях газов

с поуровневой кинетикой и поверхностными реакциями»,

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы

Работа посвящена построению математических моделей граничных условий скольжения в реагирующих смесях газов со связанной колебательно-химической кинетикой и реакциями на поверхности твердого тела. Использование условий скольжения необходимо для корректного применения континуального подхода к моделированию достаточно разреженных газов. При этом совместный учет сильных отклонений от равновесия и эффектов скольжения заметно расширяет область применения вычислительных методов механики сплошной среды, которые являются более эффективными по сравнению с кинетическими подходами. Задача существенно усложняется для смесей газов, в которых одновременно протекают химические реакции и процессы колебательной релаксации, как в газовой фазе, так и на поверхности. Такие течения наблюдаются при входе космических аппаратов в атмосферы планет, в микроканалах, системах газоразделения. Поэтому тема работы является актуальной. Востребованность тематики подтверждается и тем, что исследование поддержано проектом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2024-544 «Математические модели и численные методы как основа для разработки робототехнических комплексов, новых материалов и интеллектуальных технологий конструирования».

Л.А. Шакуровой было предложено построить строгую математическую модель граничных условий на твердой поверхности в рамках наиболее детального из континуальных методов – приближения поуровневой кинетики. В процессе работы были опробованы несколько теоретических подходов, выбран наиболее точный подход, основанный на кинетическом граничном условии для функции распределения. Проведено обобщение кинетического граничного условия, позволяющее учесть образование и распад частиц на поверхности, процессы адсорбции и десорбции. Выведены граничные условия для различных ядер рассеяния. Проведен анализ полученных выражений, впервые обнаружен вклад объемной вязкости и релаксационного давления в выражения для скорости скольжения и скачка температуры. На основе разработанных моделей получены выражения для массовых потоков компонентов смеси у каталитической поверхности, проведено сравнение с известными феноменологическими моделями. Предложенные Л.А. Шакуровой модели были также интегрированы в код для моделирования течения воздуха в пограничном слое вдоль линии торможения, получены распределения макропараметров и оценки тепловых потоков для условий, соответствующих различным высотам. Показана важность корректного учета условий скольжения для вычисления тепловых потоков, отмечена конкурирующая роль эффектов скольжения и химических реакций на поверхности для газов разной степени разреженности, изучено влияние моделей диффузии на перенос массы и тепла.

Л.А. Шакурова полностью справилась с поставленными задачами, показала высокую квалификацию при разработке новых математических методов кинетической теории

неравновесных газов, численном моделировании, анализе результатов, проявила интерес к научной работе, зарекомендовала себя как инициативный, зрелый и квалифицированный исследователь. Диссертационная работа выполнена самостоятельно, полученные результаты обладают новизной и имеют большое фундаментальное и прикладное значение.

Считаю, что диссертация Л. А. Шакуровой отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

09 июля 2024 г.

Научный руководитель  
профессор кафедры  
гидроаэромеханики СПбГУ  
доктор физ.-мат. наук, профессор:

Е.В. Кустова

