

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Смирнова Евгения Михайловича на диссертацию Шакуровой Лии Алимджановны на тему «Эффекты скольжения в смесях газов с поуровневой кинетикой и поверхностными реакциями», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Диссертация Л.А. Шакуровой посвящена построению математических моделей граничных условий скольжения применительно к расчету неравновесных течений смесей газов с комплексом физико-химических процессов в газовой фазе и реакциями на поверхности обтекаемого твердого тела. Исследования и разработки данной направленности являются **актуальными** и будут долго сохранять актуальность, так как теоретически обоснованные граничные условия скольжения дают необходимую основу и возможность все шире использовать континуальный подход к эффективному решению множества внешних и внутренних задач аэродинамики относительно разреженных газов. Построение математических моделей граничных условий скольжения в работе соискателя ведется в рамках метода поуровневой колебательно-химической кинетики в течениях многокомпонентной реагирующей газовой смеси.

Теоретическая значимость диссертации заключается в: (1) последовательном рассмотрении и анализе ряда теоретических подходов к построению граничных условий скольжения, отвечающих приближению поуровневой кинетики, (2) обосновании выбора и продуктивном использовании подхода, основанного на применении кинетического граничного условия для функции распределения частиц, обобщенного на случай поуровневого приближения, (3) расширению выбранного подхода с целью учета гетерогенных процессов, приводящих к изменению числа частиц.

Практическая значимость работы определяется: (1) общей направленностью работы на построение корректных граничных условий скольжения, требующихся для расчетов течений разреженного газа на основе модели сплошной среды, (2) представленными конкретными наборами выведенных граничных условий скольжения, (3) результатами их верификации и начальной апробации при моделировании течения пятикомпонентной смеси воздуха в пограничном слое вдоль линии торможения.

Научная значимость результатов работы состоит, прежде всего, в том, что в ней:

- разработан теоретически обоснованный и продуктивный подход к построению граничных условия скольжения для произвольной модели рассеяния частиц твердой стенкой, учитывающий, в том числе, и влияние неравновесных гетерогенных процессов на поверхности стенки;

- предложено обобщение классического кинетического граничного условия для функции распределения частиц, обеспечивающее учет образования и потери частиц на поверхности, процессов адсорбции и десорбции;

- на основе моделей рассеяния частиц Максвелла и Черчиньяни-Лампис получена система граничных условий скольжения в поуровневом приближении, включающая

выражения для определения скорости скольжения, скачка температуры и массовых потоков частиц различного сорта;

- оценено влияние моделей гетерогенной рекомбинации на поверхности из диоксида кремния и общее влияние эффектов разреженности газа на параметры течения воздуха в пограничном слое вдоль линии торможения; на той же задаче исследовано влияние моделей скорости диффузии в граничных условиях и коэффициента аккомодации в максвелловском ядре рассеяния на состав и характеристики переноса в воздушной смеси.

При разработке темы диссертации Л.А. Шакуровой последовательно использовались строгие методы кинетической теории. Было проведено обстоятельное сравнение полученных математических выражений с другими известными моделями граничных условий скольжения и показано, в частности, что некоторые хорошо известные феноменологические и теоретические модели могут быть получены, при соответствующих упрощающих допущениях, как частные случаи выведенных в работе граничных условий. Результаты, полученные для задачи о течении воздуха в пограничном слое на линии торможения, согласуются с данными других численных расчетов. Результаты, представленные в диссертации, достаточно полно опубликованы в работах соискателя (из них 1 в журнале, входящем в перечень рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК, 4 - в рецензируемых изданиях, индексируемых в международных базах цитирования WoS и Scopus) и апробированы на Всероссийских и международных конференциях. Все это дает основание полагать разработанные соискателем научные положения и представленные результаты **достоверными**.

Оценка содержания и оформления работы. Содержание диссертационной работы и общее изложение представленных в ней материалов является логичным и последовательным. Работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и списка публикаций автора по теме диссертации. Библиографический список литературы включает 153 наименования работ. В диссертации ясно сформулированы цели и задачи работы, достаточно полно описаны известные и используемые автором подходы к построению граничных условий скольжения, достаточно подробно изложены разработанные соискателем составляющие положений и результатов, выносимых на защиту, составленное автором развернутое заключение отчетливо отражает логику проведенной работы и ее основные результаты. Оформление работы соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Замечания

1. Не вполне поняты основания к использованию слов «Обнаружена зависимость» в формулировке соискателем одного из основных результатов работы (стр.12), звучащей дословно как «Обнаружена зависимость полученных граничных условий от диагональных компонент тензора напряжений — объемной вязкости и релаксационного давления, учитывающих быстрые неупругие поступательно-вращательные обмены энергией при взаимодействии частиц». То ли это «обнаружение» явилось неожиданным результатом качественного характера, который невозможно было предвидеть, исходя из общих представлений кинетической теории? Или же автор просто имеет в виду тот факт, что на

основе примененного подхода удалось математически явно отразить влияние указанных факторов в граничных условиях скольжения?

2. В настоящее время под термином CFD-решатель обычно понимается вычислительный инструментарий, позволяющий численно интегрировать дифференциальные уравнения гидродинамики в частных производных применительно к решению двумерных или трехмерных задач. На страницах диссертации этот термин применяется и к программному средству, разработанному для решения системы одномерных уравнений, возникающей при описании течения воздушной смеси на линии торможения, что представляется чрезмерным.

Данные замечания не имеют квалификационного значения.

Диссертация Шакуровой Лии Алимджановны на тему: «Эффекты скольжения в смесях газов с поуровневой кинетикой и поверхностными реакциями» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Шакурова Лия Алимджановна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета
доктор физико-математических наук, профессор,
профессор Высшей школы прикладной математики и вычислительной физики,
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Дата: 02.12.2024

