ОТЗЫВ члена диссертационного совета
на диссертацию Косаревой Алёны Александровны
«Неравновесные течения смесей, содержащих молекулы углекислого газа,
за ударными волнами», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по научной специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

Актуальность темы диссертации обусловлена наличием большого количества практических задач, связанных с течениями смесей, содержащих углекислый газ. Например, моделирование обтекания спускаемых аппаратов в атмосфере Марса и Венеры, решение проблем управления химическими реакциями, задач лазерной физики и экологии. В широком спектре задач необходимо учитывать влияние разных кинетических процессов при выборе оптимальной расчетной схемы. В связи с чем разработка корректных теоретических моделей для описания неравновесных процессов в смесях, содержащих молекулы CO_2, в разных начальных условиях является актуальной задачей. В частности, поскольку атмосфера Марса состоит преимущественно из углекислого газа, то для обеспечения расчетов сверхзвуковых полетов (в частности, движения спускаемых аппаратов) необходима разработка высокоточных и достоверных моделей неравновесных течений CO_2 с учетом возникающих физико-химических эффектов. Таким образом, представленная работа посвящена решению задачи, актуальной с теоретической точки зрения и имеющей практическую значимость.

Основные новые научные результаты, достигнутые в диссертационной работе, включают разработку новых трехтемпературных и пятитемпературных моделей для описания смесей, содержащих углекислый газ; применение новых моделей для расчета скоростей обменных реакций; реализацию нульмерного и одномерного кода для расчета течений смесей и внедрение наиболее точных моделей в рамках программного комплекса ANSYS.

Достоверность результатов, представленных в диссертации обусловлена использованием строгих методов кинетический теории, применением обоснованных и рекомендованных моделей для расчетов коэффициентов скоростей реакций и времен релаксации, а также верификацией полученных результатов путем сравнения с экспериментальными данными. Стоит отметить, что для двумерных расчетов была произведена оценка вклада различных типов неточностей в получаемые характеристики потока и достигнута сходимость решения по сетке.

Практическая значимость работы состоит, на мой взгляд, в первую очередь, в расширении возможностей моделирования течений газа, аэрогазодинамических эффектов

при движении спускаемых аппаратов, сверхзвуковых и гиперзвуковых полетов, в том числе в специфических условиях, соответствующих атмосфере Марса. Разработанный в рамках диссертации расчетный код также позволяет быстро внедрять и валидировать новые модели для описания колебательных переходов и химических реакций на примере простых модельных задач. Также автором созданы и обоснованы физико-математические модели и программные библиотеки, которые могут быть включены в состав отечественных кодов расчета высокоскоростных течений газа, таких как FlowModellium (МФТИ), ЛОГОС (РФЯЦ-ВНИИЭФ) для использования в инженерных расчетах в интересах освоения Марса. Представляются, что они могут быть полезны и для расчета достаточно большого спектра сверх- и гиперзвуковых течений, нестационарных течений с физико-химическими превращениями, имеющими место в земных условиях.

Замечания. Представленная работа не лишена недостатков. Кроме того, хотелось бы высказать ряд пожеланий в отношении возможного направления дальнейших исследований, дополняющих данную диссертацию:

1. Из текста работы неясно, проводились автором работы исследования тройных конфигураций ударных волн в углекислом газе или других многоатомных газах, в том числе при наличии физико-химических превращений? Существует ли, по мнению автора, их качественное отличие от тройных конфигураций, образующихся в двухатомном совершенном газе? Данный вопрос имеет не только теоретическое, но и прикладное значение в связи с использованием смесей многоатомных газов в авиационном и ракетном двигателестроении, в том числе в связи с открытием Л.Г. Гвоздевой и ее соавторами тройных конфигураций с отрицательным углом наклона отраженного скачка, образующихся в течениях с большими числами Маха и малыми показателями адиабаты.
2. В главе 2 рассматривается колебательно-химическая кинетика за прямым скачком уплотнения. Было бы полезно провести исследование, изменятся ли обнаруженные эффекты при наличии косого скачка уплотнения, а также системы, состоящей из косого скачка (или нескольких косых скачков) и замыкающего прямого скачка, имеющей практическое применение при газодинамическом конструировании сверхзвуковых воздухозаборников.
3. Есть некоторые недочеты в терминологии. Например, на стр. 26 удельная внутренняя энергия названа полной энергией смеси. Данное расхождение несколько затрудняет чтение и понимание диссертационной работы. Использование более общей записи при описании системы уравнений, решаемой в главе 3, может затруднить реализацию предлагаемых методов и моделей другими авторами в прикладных пакетах.

Перечисленные недостатки имеют частный характер и не снижают общей научной ценности и практической значимости работы.

В целом представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, свидетельствующей о высоком уровне эрудиции, компетентности и научных достижений автора. Работа содержит новые результаты, представляющие научный и практический интерес; она выполнена на высоком уровне, хорошо структурирована и качественно оформлена. Основные результаты, выносимые на защиту, опубликованы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, включая ведущие международные журналы Physics of Fluids, Physical Review Fluids, Acta Astronautica, относящиеся к наиболее авторитетным изданиям (входящие в первую квартиль реферативных баз SCOPUS и/или Web of Science). Несмотря на относительно небольшой срок с момента издания, отечественные и зарубежные исследователи читают и цитируют публикации автора диссертационной работы. Помимо этого, результаты работы докладывались на 8-ми международных и всероссийских конференциях и семинарах в ведущих научных учреждениях под руководством авторитетных ученых.

Диссертация Косаревой Алёны Александровны на тему: «Неравновесные течения смесей, содержащих молекулы углекислого газа, за ударными волнами» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете». Её автор, Косарева Алёна Александровна, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы». Пункт 11 вышеуказанного документа диссертантом не нарушен.

Член диссертационного совета
доктор технических наук,
кандидат физико-механических наук, доцент,
профессор кафедры «Плазмогазодинамика и теплотехника» (А9)
ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический
университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова» М.В. Чернышов
26 мая 2021 года

Подпись М.В. Чернышова удостоверяю.
Главный секретарь М.Н. Охочинский