

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Никитченко Юрия Алексеевича "Системы моментных уравнений и следующие из них модели неравновесных течений", представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – "Механика жидкости газа и плазмы"

Исследования в области динамики неравновесных течений относятся к важным направлениям современной аэромеханики. Это связано с интенсивным развитием аэрокосмической техники, где одной из основных тенденций развития является разработка гиперзвуковых летательных аппаратов. При этом уделяется большое внимание численному моделированию процессов, протекающих в области взаимодействия головной части аппарата с гиперзвуковым потоком. В этих областях возникают течения высокой динамической неравновесности, описание которых требует адекватных физико-математических моделей. **В этой связи актуальность выбранной темы исследований не вызывает сомнений.**

Диссертационная работа состоит из введения, семи разделов, заключения. Общий объем составляет 252 страницы. Список использованных источников содержит 106 наименований.

Во введении автором обоснована актуальность темы и направления исследований, **проведен достаточно полный обзор** основных работ по теме диссертации, **сформулированы основные цели и задачи работы**, показаны научная новизна и ценность результатов, выносимых на защиту, описана структура диссертации.

В первом разделе построена система моментных уравнений третьего порядка для многоатомных однокомпонентных газов (24-моментная система) и разработан оригинальный метод построения системы моментных уравнений для функции распределения общего вида. **Этот раздел является центральной частью проведенного исследования. Разработанный метод позволяет относительно просто строить замкнутые системы моментных уравнений высоких порядков.** В основе метода лежит положение об изотропности релаксационных процессов, не рассматриваемое ранее другими авторами.

Во втором разделе разработаны методы снижения коротковолновой неустойчивости систем моментных уравнений, позволяющие расширить область применимости указанных систем до гиперзвуковой области. **Предложенный метод не позволяет полностью исключить коротковолновую неустойчивость, но дальнейшее развитие этого метода представляется вполне перспективным.**

В третьем разделе получены первое и второе приближения системы моментных уравнений третьего порядка. Наибольший интерес представляют первые, не эквивалентные друг другу, приближения. В частности показано, что аналитическая форма коэффициента объемной вязкости может быть получена как прямое следствие системы уравнений третьего порядка. Теоретически обосновано и показано на численном примере, что температуры поступательных и внутренних степеней свободы, определенные с использованием коэффициента объемной вязкости, физически неадекватны. **Первое приближение указанных температур может быть получено только двухтемпературной моделью.**

В четвертом разделе построена модель граничных условий на твердой поверхности. На основе феноменологических методов сконструирована функция распределения в граничной точке. **На примере задачи о теплопередаче в плоском слое газа и течения Куэтта (шестой раздел) показано, что разработанная модель позволяет определять скольжение скорости и скачок температуры в широком интервале чисел Маха.** Разработанная модель может быть использована при постановке начально-краевой задачи для систем моментных уравнений.

В пятом разделе построены инженерные модели неравновесных течений. Показано, что в задаче о структуре ударной волны модели первого приближения дают слишком высокие градиенты газодинамических переменных. Вязкость этих моделей недостаточна. Модели первого приближения, коэффициент вязкости которых содержит неравновесные напряжения, (внепорядковые модели), позволяют получать размер возмущенной области близкий к реальному. При этом профили ударной волны отличаются от реальных профилей. Вопрос соответствия размера профиля и его формы экспериментальным профилям подробно рассмотрен в диссертационной работе с использованием вспомогательной кинетической модели. Проведен анализ влияния различных членов моментного уравнения на профили напряжений. **В частности**

показано, что ширина профиля напряжений в основном определяется членами, отсутствующими в моделях первого приближения.

На основе анализа дефектов 24-моментных и внепорядковых моделей разработана гибридная модель неравновесного течения. Эта модель содержит систему уравнений сохранения, общую для указанных моделей, и подсистему моментных уравнений неравновесных величин 24-моментной системы. **Полученная модель лишена коротковолновой неустойчивости.** Недостатком модели является более высокая сложность ее численной реализации по сравнению с известными моделями.

В шестом разделе представлены результаты тестовых расчетов вырожденных течений. Рассмотрены различные модели граничных условий на твердой поверхности и предложенные в диссертационной работе модели течений. В тестовых расчетах использованы различные численные методы, что подтверждает достоверность полученных результатов. В качестве сравнительной базы использованы экспериментальные данные различных авторов. **Результаты численных тестов позволяют оценить достоинства или недостатки рассматриваемых моделей.**

На примере решения задачи о профиле плоской ударной волны показано, что модель Навье-Стокса-Фурье, не содержащая коэффициента объемной вязкости, дает сильно завышенную обратную ширину профиля. **Введение коэффициента объемной вязкости в предложенной в диссертации форме существенно улучшает значения указанного параметра.** Двухтемпературная модель приводит к дальнейшему улучшению результатов расчета обратной ширины профиля. **Удовлетворительная форма профиля получена только для гибридной модели.**

В седьмом разделе рассмотрено гиперзвуковое обтекание тонкой пластины при нулевом угле атаки. Расчеты проведены с использованием модели Навье-Стокса-Фурье, а также внепорядковой и гибридной моделей (инженерных моделей). В модели Навье-Стокса-Фурье учитывался коэффициент объемной вязкости. Решаемая задача имела модельный характер. Ее специфика заключается в том, что на носовой части пластины отсутствует точка торможения потока. Носик пластины является особой точкой течения, а именно точкой разрыва первой производной газодинамических переменных. **Целью решения была демонстрация влияния ширины возмущенной**

области перед носиком пластины на результаты расчета нормальных напряжений по поверхности пластины. Для анализа результатов расчета использованы экспериментальные данные, полученные для обтекания тонкого клина. Показаны преимущества инженерных моделей, дающих более широкую область возмущения.

В заключении диссертации излагают итоги выполненного исследования, перспективы дальнейшей разработки темы и рекомендации по практическому применению разработанных моделей течения. Среди перспективных разработок особый интерес представляет решение задачи о необходимом порядке системы моментных уравнений для описания течений при $Kn \geq 1$. Разработанный автором метод построения системы моментных уравнений позволяет поставить эту задачу.

В качестве замечаний к представленной диссертационной работе следует отметить следующее.

1. Течения высокой степени динамической неравновесности в диссертации рассматриваются в основном на примере течений торможения, что вполне оправдано. Однако, такие течения практически всегда сопровождаются значительным разогревом газа и, как следствие, его диссоциацией. Используемая в данной работе модель однокомпонентного газа является грубым приближением для описания такого рода течений. Распространение предложенного метода построения системы уравнений на многокомпонентные и химически реагирующие газы требует дополнительных самостоятельных исследований. В тексте диссертации нет указаний на такие перспективные разработки и не ясно планируются ли такие исследования.

2. В разделе 1.6 разработанная автором 24-моментная модель сравнивается с 20-моментной моделью Грэда. Отмечено, что в отношении коротковолновой неустойчивости свойства обеих моделей аналогичны. На рис. 1.1 (с.55) показано возникновение субскачка на профиле ударной волны для 24-моментной модели. Для подтверждения сделанного выше утверждения было бы целесообразно показать профили с субскачком для 20-моментной модели Грэда.


Указанные замечания, однако, не носят принципиального характера и не снижают высокую научную значимость диссертационной работы.

Научные положения и выводы, содержащиеся в диссертации достаточно обоснованы. Совместное использование аналитических и численных методов исследования, а также сравнение с экспериментальными данными обуславливают **достоверность полученных результатов**. Не вызывает сомнения **научная новизна** результатов диссертационной работы. Материал диссертации изложен логично и аргументировано.

Автореферат правильно и полной мере отражает содержание диссертационной работы.

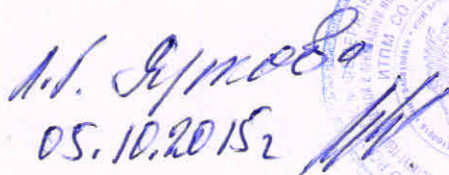
Таким образом, диссертация Ю. А. Никитченко "Системы моментных уравнений и следующие из них модели неравновесных течений", обобщает самостоятельные исследования автора и является законченной научной работой, выполненной на актуальную тему. Представленные в диссертации исследования, выполненные автором, можно квалифицировать как новое научное направление в физико – математическом моделировании динамики газов и это позволяет сделать **заключение, что работа однозначно удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 - механика жидкости, газа и плазмы.**

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук,
профессор, зав. лабораторией "Аэрофизических
исследований дозвуковых течений"


В.В.Козлов

Институт теоретической и прикладной механики
им. С.А.Христиановича СО РАН.
Почтовый адрес: 30090, Новосибирск, ул. Институтская, 4/1
Телефон: (383) 330-42-68
Факс: (383) 330-72-68
Эл. почта: kozlov@itam.nsc.ru

Подпись тов. Козлова В.В. заверяю


05.10.2015

