

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Овчинникова Вячеслава Александровича** «*Математическое моделирование аэродинамических процессов и тепловой защиты гиперзвуковых летательных аппаратов*», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Диссертация посвящена численному исследованию и анализу особенностей сопряженных задач тепломассообмена, расчету турбулентного пограничного слоя на поверхности затупленного тела при его сверхзвуковом обтекании вязким потоком воздуха, численному исследованию прогрева и термохимического разрушения теплозащитного покрытия и влияния вращательного движения на аэродинамические и тепловые характеристики.

Аэродинамические, теплообменные и другие характеристики возвращаемых аппаратов существенно зависят от понимания природы нестационарных эффектов. Возможность надежного предсказания основных закономерностей необходимы для разработки и совершенствования способов управления такими течениями при создании современных летательных аппаратов с высокоэффективными характеристиками.

Большинство рассматриваемых в диссертации течений решается с использованием приближенных полуэмпирических методов. Для их решения автор разрабатывает линейку вычислительных подходов, основанных на сочетании методов решения уравнений пограничного слоя и модельного описания поля течения вблизи пористой стенки с вдувом газа через неё. Пользуясь таким приемом, ему удастся построить весьма экономичный и эффективный вычислительный аппарат, позволивший провести подробные исследования целого ряда конкретных задач.

Разработанные автором программы позволяют существенно упростить и ускорить проведение научных и инженерных исследований, так как этот подход наиболее информативен, доступен для использования большими коллекти-

вами и отдельными инженерами и учеными, позволяет получить прямой экономический эффект при разработке, испытаниях и производстве самой разнообразной продукции.

Особый интерес представляет область гиперзвуковых скоростей обтекания, при которых усиливается прогрев и разрушение телам.

В связи с этим тема диссертационной работы Овчинникова В.А., посвященной применению методов математического моделирования и созданию пакетов прикладных программ для исследования нестационарных течений, является, безусловно, актуальной, представляет **теоретический** интерес и имеет **практическую** ценность. Практическая ценность работы определяется в первую очередь тем, что полученные результаты способствуют более глубокому пониманию особенностей формирования пограничных слоев при высокоскоростном обтекании тел различной формы, что полезно для развития методов управления процессами при решении конструкторских и инженерных задач при создании высокоскоростной техники.

Апробация работы представляется вполне приемлемой. Результаты исследований опубликованы в 31 работе, из них 8 статей в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК, в которых должны быть представлены основные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, получены 2 свидетельства о государственной регистрации электронных программ для ЭВМ.

Научная новизна результатов исследования Овчинникова Вячеслава Александровича заключается в том, что им впервые было проведено численное моделирование процессов нестационарного теплообмена в рамках сопряженной постановки и теории пограничного слоя при термохимическом разрушении теплозащитного покрытия и гиперзвуковом обтекании вращающегося тела под ненулевым углом атаки и подтверждается получением ряда новых ранее неизвестных результатов:

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка сокращений, списка литературы из 215

наименований и 2 приложений, содержит 50 рисунков, 7 таблиц. Общий объем работы 166 страниц.

Кратко проанализируем представленный в работе материал.

Во введении автором обсуждается актуальность работы, перечислены положения, выносимые на защиту, цель работы, задачи исследования, научная новизна, методы исследования, теоретическая и практическая значимость работы. К сожалению, его формат в достаточной мере не позволил выполнить функцию обоснования выбранного направления, набора численных моделей, перечня задач и определения диапазонов определяющих параметров.

В первой главе представлен обстоятельный обзор современного состояния вопроса по всем решаемым задачам. Представлен обзор работ, содержащих результаты экспериментальных и численных исследований. Список литературы можно признать достаточно полным. Основные предшествующие и одновременно выполненные работы автор знает хорошо и творчески использует при анализе своих результатов. Оппонент ожидал более глубокого анализа состояния вычислительной гидродинамики (CFD) в приложении к проблематике диссертации, в особенности в связи с разработкой и использованием универсальных и специализированных пакетов прикладных программ (типа Fluent). Необходимо было бы особо подчеркнуть ограниченность этих пакетов к исследуемым в диссертации проблемам.

Во второй главе описывается математическая модель для расчета сверхзвукового пространственного обтекания затупленных тел потоком химически равновесного воздуха в рамках теории пограничного слоя. Приводится краткое описание численного метода расчета уравнения сжимаемого трехмерного пограничного слоя на затупленном теле. Приведены примеры расчета теплового потока на поверхности затупленных тел и сравнение его с экспериментальными и расчетными данными других авторов. Проведено исследование программы численного расчета решения на сеточную сходимость.

Третья глава посвящена математическому моделированию процессов тепло- и массообмена в системах активной и пассивной тепловой защиты. Гла-

ва содержит описание структуры построенного пространственного комплекса. Показано, что программный комплекс состоит из графического препроцессора, программных модулей для численного моделирования и модуля для предварительной обработки полученных результатов.

Исследуется влияние теплофизических и термокинетических параметров углепластика на массовый унос и температуру поверхности затупленного тела при сверхзвуковом обтекании под углом атаки 10° . Изучается влияние на теплообмен в системах транспирационного охлаждения различных факторов таких как малые энергетические воздействия, пористость, теплопроводность материала. Показано сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными.

В четвертой главе приводятся основные результаты математического моделирования сопряженных задач тепломассообмена при сверхзвуковом обтекании вращающегося тела. При рассмотрении осесимметричного обтекания вращающегося конуса, затупленного по сфере, с изотермической поверхностью, численно показано влияние вращения вокруг продольной оси тела на тепловой поток, трения на поверхности тела. Исследуется влияние тепловой и гидродинамической асимметрии на значения аэродинамических коэффициентов при наличии угла атаки, вращения, сверхзвукового обтекания, прогрева и термического разрушения теплозащитного материала на основе углепластика. Параметрически исследуется влияние вращения при сверхзвуковом пространственном обтекании затупленного тела на асимметрию и перепад температуры поверхности при использовании в качестве теплозащитного материала графита и углепластика.

В заключение диссертационной работы сформулированы основные выводы и перспективы дальнейшей разработки темы исследования.

Степень обоснованности и достоверности научных положений выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации обеспечиваются корректностью математических моделей, использованием проверенных численных методов, сравнением результатов расчетов с известными экспериментальными данными.

Основные результаты, полученные диссертантом, опубликованы в доступной печати, автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Замечания к диссертационной работе

1. В работе не обсуждается влияние ламинарно-турбулентного перехода на возможное изменение полученных результатов. При переходе ламинарного пограничного слоя в турбулентный тепловой поток к поверхности резко увеличивается.

2. Для расчета химически равновесного газа на стр. 44 используется функция Z. Однако автор не поясняет как она была получена.

3. На стр. 76 указано, что $L_1 \gg L_3$, но из постановки задачи следует, что $L_1 \ll L_3$.

4. На с. 108 не приведены формулы, по которым вычислялись коэффициенты боковой силы, момента рыскания, момента крена, и строились графики 4.7а и 4.7б.

5. В дополнение к предыдущему замечанию в параграфе 4.2 не описана методика расчета аэродинамических коэффициентов, обозначенных как $f^{(0)}$ и $f^{(1)}$, т.е. каким образом из f выделялись $f^{(0)}$ и $f^{(1)}$, отвечающие за асимметрию прогрева (рис. 4.7а) и течения (рис. 4.8б) соответственно.

6. В список литературы диссертации включено только 6 работ автора из основных публикаций, представленных в автореферате. Кроме того в ряде параграфов (3.2, 3.3, 4.3) не указано, где были опубликованы результаты, несмотря на то что такие работы присутствуют в списке публикаций в автореферате.

7. В диссертации профили скорости и температуры поперек пограничного слоя представлены лишь в параграфе 2.4 для иллюстрации тестирования метода решения на сеточную сходимость.

8. В первом абзаце параграфа 3.1 на с. 64 идет дублирование названия самого параграфа.

Общий вывод.

Диссертация Овчинникова Вячеслава Александровича является оригинальной, завершенной научно-квалификационной работой, в которой по-

Официальный оппонент
ведущий научный сотрудник
лаборатории физики быстропротекающих процессов
Федерального государственного учреждения науки
Института теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН
(630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, д. 4/1,
<http://www.itam.nsc.ru>, e-mail: admin@itam.nsc.ru,
тел.: 8(383) 330-24-64, факс (383)330-7268),
доктор физико-математических наук
(01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы)

Зудов
Зудов Владимир Николаевич
e-mail: zudov@itam.nsc.ru
т. 8(383) 330-39-23

20 ноября 2018 г.

Подпись Зудова В.Н. заверяю
Ученый секретарь ИТПМ СО РАН

Ю.В.Кратова

