

ОТЗЫВ

**научного руководителя д.т.н., профессора Никитина П.В.
на диссертационную работу Пашкова О. А.**

«Тепло-массообмен на поверхности элементов конструкции гиперзвуковых летательных аппаратов самолетных схем при полете в атмосфере», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Квалификационная работа Пашкова О.А. посвящена решению одной из проблемных научно-технических задач - разработке полной математической модели неизотермических процессов термо-газодинамики и тепло-массообмена, реализуемых на поверхности гиперзвукового летательного аппарата (ГЛА) при полёте на высотах, где атмосфера удовлетворяет гипотезе сплошности.

В процессе выполнения работы автором решены ряд задач, которые подтвердили надёжность предложенной математической модели, достоверность данных, полученных с её использованием, а также высокую оперативность расчётных процедур, выполняемых на стандартной компьютерной технике.

В результате решения задач:

- выявлены особенности полёта ГЛА самолетных схем в плотных слоях атмосферы Земли с глубоким анализом аэродинамических и физико-химических процессов, протекающих на поверхности аппарата в сжатом и пограничном слоях;

- проанализированы возможности оперативного решения разработанной математической модели численными методами. Исследовано влияние структуры расчётной сетки на достоверность получаемых результатов. Показана необходимость проведения анализа структуры расчётных сеток на погрешность получаемых данных;

- проведена верификация разработанной математической модели путём сравнения результатов расчёта процессов термо-газодинамики и тепло-массообмена на поверхности сферы и затупленного конуса с данными открытых источников;

- по результатам верификации проведена модификация математической модели;

- с использованием модифицированной математической модели, выполнены расчёты неравновесных процессов термо-газодинамики и тепло-массообмена на поверхности сферы, модели планетарного зонда, модели спускаемого аппарата сегментально-конической формы, а также перспективного малоразмерного крылатого возвращаемого аппарата.

Всё указанное характеризует актуальность темы диссертации, поскольку сегодня создание гиперзвуковых летательных аппаратов

самолётных схем является проблемной задачей дальнейшего развития авиационной и ракетно-космической техники оборонного и гражданского назначения. В этой связи разработка экспериментальных и численных методов и средств исследования таких комплексных многопараметрических задач, связанных с изучением структуры ламинарных, переходных и турбулентных неравновесных химически активных неізотермических течений, является актуальной проблемой науки и техники.

Отмечаю, что выполненная соискателем работа комплексная. Она включает несколько взаимосвязанных частей. В одной из таких частей проанализированы основные задачи, которые приходится преодолевать при математическом моделировании и последующим исследовании неізотермических процессов термо-газодинамики и тепло-массообмена с неравновесными химическими реакциями. Такие процессы реализуются на поверхности летательного аппарата, совершающего полёт в атмосфере с гиперзвуковой скоростью.

В результате проведенного анализа автором предложена концепция комплексного математического моделирования тепловых и газодинамических процессов. Показаны преимущества концепции в сравнении с ранее реализованными при решении различными авторами задач подобного класса.

Суть предложенной концепции состоит в том, что математическое моделирование комплекса сложных процессов термо-газодинамики, тепло-массообмена и химической кинетики построено на совокупности относительно простых математических моделей каждого из множества процессов. При этом обосновано, что построенная на такой концепции математическая модель позволяет достоверно рассчитывать теплообмен на поверхности ГЛА при использовании стандартных компьютерных ресурсов.

Таким образом, предложенный подход снимает практически все ограничения, обычно возникавшие при решении подобных многопараметрических задач.

Вторая часть работы посвящена составлению, непосредственно, самой математической модели, а также разработке мобильных численных методов её решения. Ряд проведенных математических операций и обоснованных допущений, дали возможность провести модификацию численного метода решения составленной математической модели и, в конечном счёте, повысить его эффективность. Например, представлены результаты исследования влияния структуры расчётной сетки на получаемые данные. В этой части работы проведена также серия расчётов. Выполнено сопоставление полученных результатов с опубликованными расчётными и экспериментальными данными известных классических теоретических и экспериментальных задач подобного рода. Такая операция явилась тестовой проверкой предложенной математической модели, оценкой её достоверности.

В завершающей части работы проведён анализ результатов численных расчётов, дано объяснение природы термо-газодинамических, тепловых и физико-химических неізотермических процессов, протекающих в химически неравновесных сжатом и пограничном слоях.

По итогам изложенных в работе материалов отмечаю, что научная новизна практическая значимость диссертационной работы Пашкова О. А. выражается:

- в дальнейшем развитии методов математического моделирования гиперзвуковых неізотермических течений с неравновесными химическими реакциями;

- в модификации численных методов решения задач термо-газодинамики и тепло - и массообмена;


- в разработанной общей математической модели гиперзвуковых неізотермических течений, описывающей в едином комплексе процессы термо-газодинамики, тепло-массообмена и химической кинетики;

- в модификации численных методов решения нестационарных уравнений Навье-Стокса (Рейнольдса) в совокупности с уравнениями энергии, массообмена, неразрывности химических компонентов;

- в удовлетворительном соответствии результатов расчёта по предложенной математической модели с экспериментальными данными разных авторов;

- в практическом использовании предложенного метода математического моделирования термо-газодинамики, тепло-массообмена и химической кинетики гиперзвуковых течений в целях повышения достоверности и оптимизации дорогостоящих экспериментальных исследований.

В целом считаю, что диссертационная работа «Тепло-массообмен на поверхности элементов конструкции гиперзвуковых летательных аппаратов самолетных схем при полёте в атмосфере» отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Пашков Олег Анатольевич, заслуживает присвоения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14. – "Теплофизика и теоретическая теплотехника".

 П.В. Никитин,
д.т.н., профессор, Заслуженный деятель науки РФ.

Подпись профессора Никитина П.В. удостоверяю

Декан факультета № 2

 А.Б. Агульник.

