



**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ВОЕННО-ПРОМЫШЛЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ
«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ МАШИНОСТРОЕНИЯ»**

(АО «ВПК «НПО машиностроения»
ул. Гагарина, д. 33, г. Реутов, Московская область, 143966
телеграфный: Реутов Московской ВЕСНА (АТ346416)
Тел.: (495) 528-30-18 (канцелярия) Факс: (495) 302-20-01
E-mail: vpk@npomash.ru http://www.npomash.ru
ОКПО 07501739, ОГРН 1075012001492
ИНН/КПП 5012039795/509950001

30.03.2017

№ 12/14

на № _____

от _____

Учёному секретарю

диссертационного совета Д 212. 125.08

д.т.н. проф. Зуеву Ю.В.

125993, Москва, А-80, ГСП-3,

Волоколамское шоссе, дом 4.

Московский авиационный институт

(национальный исследовательский
университет)

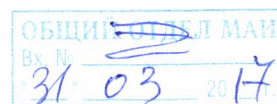
Учёный совет.

Направляю Вам отзыв Ведущей организации на диссертацию Пашкова Олега Анатольевича на тему: «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».

Ученый секретарь НТС предприятия Л.С. Точилон

Приложение:

1. Отзыв в 2-х экземплярах, на 6-ти страницах каждый, н/с
2. Диссертация, 1 книга





«УТВЕРЖДАЮ»

**Заместитель Генерального Директора –
Заместитель Генерального Конструктора**

А.Н. Горяев

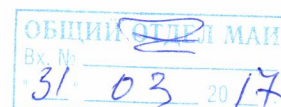
«30» 05 2017

ОТЗЫВ

ведущей организации

АО «Военно-промышленная корпорация «Научно-производственное объединение машиностроения» (АО «ВПК «НПО машиностроения») на диссертационную работу Пашкова Олега Анатольевича на тему **«Тепло-массообмен на поверхности элементов конструкции гиперзвуковых летательных аппаратов самолетных схем при полете в атмосфере»**, представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Диссертационная работа Пашкова О.А. посвящена решению одной из важнейших научно-технических проблем авиационной и ракетно-космической техники – проблеме проектирования тепловой защиты (ТЗ) элементов конструкции гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЛА). В зависимости от скорости полёта ГЛА на его поверхности реализуется интенсивный аэродинамический нагрев. Физическая природа нагрева определяется экстремальным увеличением термодинамической энтальпии газа, имеющим место при торможении высокоскоростного потока в ударном слое. Уровень энтальпии газа достигает таких значений, при которых пристенные слои на поверхности аппарата становятся многокомпонентными химически активными. Это вносит свои особенности в процессы термогазодинамики и тепло-массообмена. При таких условиях величины тепловых потоков в стенку достигают значений, при которых элементы конструкции ГЛА разрушаются в случае отсутствия специальной ТЗ. В этой связи при проектировании и разработке ГЛА требуются высокая достоверность знаний термогазодинамических и тепловых параметров, сопутствующих аэродинамическому нагреву.



В этой связи актуальность темы анализируемой работы не вызывает никаких сомнений.

Очевидно, что решение данной задачи для условий гиперзвукового течения является достаточно сложным из-за необходимости учёта всех высокотемпературных атомно-молекулярных физико-химических процессов, явлений релаксации внутренней энергии молекул, многокомпонентной диффузии, диссоциации, рекомбинации и ионизации в неравновесных условиях.

В этом плане сформулированная в работе цель и поставленные задачи могут быть решены с использованием только теоретического исследования, поскольку процессы, реализуемые при высокоскоростных течениях, являются многопараметрическими. В диссертационной работе показано, что методология решения многопараметрических задач становится более эффективной, если алгоритм исследований строить на базе теоретических методов, например, метода математического моделирования комплекса изучаемых процессов. При этом экспериментальные исследования на модельных лабораторных стендах должны выполнять только роль тестовых испытаний. Такое тестирование теории по интегральному физическому эксперименту обеспечивает достоверность разработанной математической модели и возможность её использования для исследования многопараметрических процессов, протекающих в натуральных условиях эксплуатации реальных объектов авиационной и ракетно-космической техники.

Эффективное же экспериментальное моделирование гиперзвуковых течений в лабораторных условиях невозможно. Проведение же лётных экспериментов весьма затратно в экономическом плане.

Опираясь на эту концепцию, соискателем используется современная математическая модель, учитывающая протекание всех основных физико-химических процессов, сопровождающих обтекание поверхности летательного аппарата гиперзвуковым потоком газа.

Разработанная автором общая математическая модель включает систему уравнений Навье–Стокса, которая дополняется уравнениями: энергии, переноса компонентов, лучистой энергии, химической кинетики, модели турбулентности, решаемых методом конечных объёмов на

структурированных расчётных сетках с использованием программного комплекса ANSYS FLUENT.

Однако следует отметить, что стандартные программные комплексы (ANSYS CFX, FLUENT и т.п.) в целом не предназначены для решения класса задач, рассмотренных в диссертации.

В связи с этим автор вынужден был для достижения цели и решения поставленных задач разработать не только математические модели, но и программное обеспечение для их решения.

Автором 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.

Удовлетворительное соответствие результатов расчёта с известными экспериментальными данными позволили автору сделать выводы о достоверности используемой им математической модели и о её пригодности для глубокого исследования процессов термо-газодинамики и тепло-массообмена на поверхности высокоскоростных ЛА.

Таким образом, научная новизна диссертационной работы заключается в адаптации стандартного программного комплекса ANSYS FLUENT, не предназначенного для решения задач гиперзвуковых течений.

Автором разработаны и введены в стандартный программный комплекс новые программные решения, позволившие значительно расширить область применения комплекса. Это позволило математически описать и решить численными методами основные процессы термо-газодинамики, тепло-массообмена и химической кинетики, протекающие в окрестностях и на поверхности гиперзвукового летательного аппарата.

Автор утверждает, что в рамках его диссертации **впервые** получена общая математическая модель, основанная на совокупности относительно простых математических моделей. Такой подход позволил с использованием стандартных компьютерных ресурсов рассчитать основные процессы термо-газодинамики, тепло-массообмена и химической кинетики, протекающие в сжатом и пограничном слоях ГЛА.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в девяти научных работах, восемь из которых опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России.

Основные научные результаты работы докладывались на отечественных и международных научно-технических конференциях. В частности, на 13-й Международной конференции «Авиация и космонавтика - 2014», Всероссийской научно-технической конференции «Авиадвигатели XXI века», XV Международном Минском форуме по тепломассообмену.

По материалам, изложенным в диссертации, считаем необходимым высказать ряд замечаний.

Во-первых, в диссертации отсутствует критический обзор решаемой в диссертации проблемы и следующий из него **обязательный** вывод, о том, какие недостатки в опубликованных работах он предполагает устранить в рамках своей диссертации.

Утверждение автора о том, что им впервые создан программный комплекс, в рамках которого могут проводиться расчеты как в строгой, так и в упрощенной постановке, является сомнительным. В качестве примера, можно сослаться на аналогичный программный комплекс НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова, который уже в течение более 10-ти лет эксплуатируется на нашем предприятии в процессе проектирования изделий сложной аэродинамической формы.

Во-вторых:

- используемый автором подход, предназначенный для вычисления турбулентного диффузионного потока каждого компонента по турбулентной вязкости, отсутствует в указанном источнике « Sutton K., Gnoffo P. A. Multi-component diffusion with application to computational aerothermodynamics // AIAA 98-2575»;

- не объяснено и не апробировано использование модели турбулентности для моделирования газодинамики неравновесных течений.

- в работе не описана модель релаксации колебательных степеней свободы многоатомных молекул;

- тестовые расчёты на сеточную сходимость, приведенные в диссертации, получены при использовании равномерного разбиения области определения искомых функций по нормальной координате;

- в диссертации, к сожалению, отсутствуют результаты сравнения расчетных и экспериментальных данных, выполненных для условий летного эксперимента аппаратов серии RAM-C;

- полученная в работе зависимость теплового потока в критической точке от радиуса затупления модели давно известна из литературных источников.

В заключении отметим:

- что автором проведен большой объем исследований, направленных на создание современных средств проектирования летательных аппаратов самолетного типа;

- что после учета второй группы высказанных замечаний, созданный автором программный комплекс может использоваться как в организациях, занимающихся проектированием и разработкой ГЛА, так и в учебном процессе Вузов, готовящих специалистов в области высокоскоростной газовой динамики и теплообмена;

Диссертация Пашкова О.А. является законченной научно-исследовательской работой, содержащей решение актуальной научно-технической задачи. Несмотря на указанные недостатки, она выполнена на достаточно высоком научно-техническом уровне. Автор продемонстрировал как достаточно глубокое понимание решаемой проблемы, так и способность к самостоятельному решению исключительно сложных физико-математических задач.

Вследствие этого считаем, что данная диссертация заслуживает положительной оценки, а ее автор Пашков Олег Анатольевич достоин присвоения ему степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании секции 02 НТС предприятия (протокол № 146 от 27.03.2017).

Начальник отделения 02, к.ф-м.н.

Ю.А. Прохорчук

Г.н.с. отделения 02, д.т.н., профессор

В.В. Горский

Начальник отдела 02-12, д.т.н.

В.П. Котенев

С.н.с. отдела 02-12, к.ф-м.н.

Д.А. Забарко

Ученый секретарь НТС предприятия, к.ф-м.н.

Л.С. Точиллов