



# ФЕДЕРАЛЬНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО

Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина»



Ленинградская ул., д. 24, г. Химки, Московская область, Российская Федерация, 141400  
тел. (495) 629-67-55, факс (495) 573-35-95,  
e-mail: npol@laspace.ru, http://www.laspace.ru

03.04.2017

№

576/5351

на №

от

Ученому секретарю диссертационного совета  
ДС 212.125.08 при Московском авиационном  
институте (национальном исследовательском  
университете)

доктору технических наук, профессору  
Ю.В. Зуеву

125993, г. Москва, А-80, ГСП-3,  
Волоколамское шоссе, д.4, МАИ,  
Ученый совет

УТВЕРЖДАЮ

Помощник генерального директора по науке,  
доктор технических наук, профессор



В.В. Ефанов

» 04 2017 г.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Пашкова Олега Анатольевича «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

Развитие авиационной и космической техники ставит перед исследователями ряд сложных научно-технических задач, к числу которых относится обеспечение теплового режима гиперзвуковых ( $M > 5$ ) летательных аппаратов (ГЛА), движущихся в плотных слоях атмосферы. Элементы конструкции таких аппаратов подвергаются значительному теплосиловому

В: 4 04 17

воздействию близкому к предельному для применяемых теплостойких материалов и покрытий ГЛА. Поэтому тема диссертации Пашкова О.А., посвященная исследованию процессов термо-газодинамики и тепло-массообмена при обтекании ГЛА в плотных газовых средах и разработке соответствующих математических моделей, является актуальной.

В диссертации Пашкова О.А., судя по автореферату, разработаны последовательно две математические модели (разной степени сложности) процессов тепло- и массообмена, происходящих у поверхности ГЛА. В рамках разработанных моделей решение задач обтекания проводится с использованием уравнений Навье-Стокса, дополненных уравнениями состояния, энергии, химической кинетики, переноса компонент реагирующей газовой смеси, соотношениями для коэффициентов переноса, замыкающих общую систему уравнений.

Одна из разработанных моделей является упрощенной, ориентированной на проведение быстрых (оценочных) расчетов газодинамических параметров течения в ударном (сжатом) и в пограничном слоях, рассчитанная на ограниченные ресурсы ЭВМ. С помощью этой модели проведено подробное исследование корректности постановки задачи, исследована сходимость разработанной численной схемы, выбрана оптимальная структура разностных сеток, получено удовлетворительное соответствие результатов с результатами других работ. Вместе с тем верификация результатов в рамках этой модели, показала ее ограниченность для некоторых режимов обтекания (включая расчет тепловых потоков) и необходимость ее доработки.

Для этих целей модель была модифицирована на основе детального газо- и термодинамического анализа полученных результатов и постановки задачи. При этом, как следует из автореферата, автором было проведено дальнейшее исследование полученных данных с привлечением результатов работ других авторов. Это позволило уточнить модель в части термодинамических свойств реагирующих газовых сред, увеличить число учитываемых химических реакций, а для учета турбулентных режимов обтекания была внедрена гибридная модель турбулентности, позволившая учесть переходные процессы

при переходе ламинарного режима течения в турбулентный.

Отработка модифицированной модели проведена на примерах обтекания ряда тел различной формы (сферической, конической со сферическим затуплением, сегментально-конической и др.), традиционно применяемых при проектировании ГЛА. Верификация модели проведена с использованием как расчетных, так и экспериментальных данных, подтвердивших ее полезность, новизну и достоверность.

Практическая значимость работы состоит в возможности использования разработанных моделей и их программной реализации для расчета газо- и термодинамических параметров поля течения и на обтекаемой поверхности при проектировании теплозащитных систем ГЛА, включая космические аппараты, спускаемые в атмосферах планет.

Новизна работы состоит в разработке вычислительной программы, учитывающей в рамках разработанных моделей ряд сложных физико-химических процессов, характерных при обтекании элементов конструкций ГЛА высокоскоростным потоком газа при полетах в плотных слоях атмосферы.

Достоверность полученных результатов, судя по автореферату, подтверждается строгостью постановки решаемых задач, апробацией работы на научно-технических конференциях, удовлетворительным соответствием с результатами, полученными по другим расчетным методам, и данным ряда экспериментов.

Оформление автореферата удовлетворяет требованиями ВАК РФ.

По содержанию автореферата имеются следующие недостатки.

1. Не описаны разностная схема и вычислительный алгоритм, применяемые для решения исходной системы дифференциальных уравнений с указанием особенностей аппроксимации дифференциальных операторов, не указан порядок точности разностной схемы; не приведена исходная система уравнений задачи, не приведена область решения задачи обтекания исследуемых тел.

2. В автореферате представлены результаты решения задач обтекания для отдельных точек траекторий ряда ГЛА. Практическая значимость работы была

бы выше, если бы в ней была реализована возможность решения задачи вдоль участка траектории полета ГЛА.

На основании материалов диссертации, представленных в автореферате, считаем, что по совокупности полученных результатов диссертационная работа О.А. Пашкова «Тепло-массообмен на поверхности элементов конструкции гиперзвуковых летательных аппаратов самолетных схем при полете в атмосфере», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, соответствует критериям, изложенным в пунктах 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Пашков Олег Анатольевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по названной специальности.

Ведущий научный сотрудник ФГУП  
«НПО им. С.А. Лавочкина»,  
доктор технических наук

А.А. Иванков

Ведущий конструктор ФГУП  
«НПО им. С.А. Лавочкина»,  
кандидат технических наук

А.Ф. Клишин

Сведения о составителях отзыва.

Иванков Александр Андреевич

Дом. адрес: 141400, г. Химки, Московская обл., ул. Панфилова, д.11, кв.119;  
тел. 8(495)575-53-59, e-mail: [ival@laspace.ru](mailto:ival@laspace.ru), моб. тел.: 8(915)118-02-62

Клишин Александр Федорович

Дом. адрес: 141400, г. Химки, Московская обл., ул. Строителей, д.7, кв.98;  
тел. 8(495)575-55-16, e-mail: [gotovtsev@laspace.ru](mailto:gotovtsev@laspace.ru)

Заместитель генерального директора  
по персоналу

М.В. Данильченко