

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.08.

Соискатель: Пашков Олег Анатольевич.

Тема диссертации: Тепло-массообмен на поверхности элементов конструкции гиперзвуковых летательных аппаратов самолетных схем при полете в атмосфере.

Специальность: 01.04.14 - «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:

На заседании 17 апреля 2017 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует паспорту специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника» и удовлетворяет критериям, установленным положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и принял решение присудить Пашкову Олегу Анатольевичу ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: *председатель диссертационного совета* Равикович Ю.А., *ученый секретарь диссертационного совета* Зуев Ю.В., *члены диссертационного совета:* Абашев В.М., Агульник А.Б., Демидов А.С., Дзюбенко Б.В., Козлов А.А., Коротеев А.А., Кочетков Ю.М., Краев В.М., Кулешов Н.В., Марчуков Е.Ю., Мякочин А.С., Надирадзе А.Б., Назаренко И.П., Ненарокомов А.В., Никитин П.В., Попов Г.А., Тимушев С.Ф., Хартов С.А.

Ученый секретарь совета,
д.т.н., профессор

Зуев Юрий Владимирович

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.08
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» МИНИСТЕРСТВА
ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 17 апреля 2017 № 5

О присуждении Пашкову Олегу Анатольевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация "Тепло-массообмен на поверхности элементов конструкции гиперзвуковых летательных аппаратов самолетных схем при полёте в атмосфере" по специальности 01.04.14 – "Теплофизика и теоретическая теплотехника" принята к защите 16.01.2017 г., протокол № 1 диссертационным советом Д 212.125.08 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки Российской Федерации, 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4, приказы Минобрнауки РФ: о создании диссертационного совета - № 2249-1460 от 02.11.2007 г., об изменении состава диссертационного совета - № 1986-540/1460 от 21.11.2008 г., о продлении срока действия диссертационного совета - № 1925-601 от 08.08.2009 г., о соответствии диссертационного совета «Положению о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени

доктора наук» - № 105/нк от 11.04.2012 г., об изменении состава диссертационного совета - № 508/нк от 22.08.2012 г., об изменении состава диссертационного совета - № 548/нк от 06.10.2014 г.

Соискатель Пашков Олег Анатольевич 1988 года рождения, работает младшим научным сотрудником в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки Российской Федерации.

В 2012 году соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

В 2015 году соискатель окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Диссертация выполнена на кафедре «Авиационно-космическая теплотехника» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) Министерства образования и науки РФ.

Научный руководитель - доктор технических наук Никитин Петр Васильевич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кафедра «Авиационно-космическая теплотехника», профессор.

Официальные оппоненты:

Резник Сергей Васильевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический

университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», факультет «Специальное машиностроение», кафедра «Ракетно-космические композитные конструкции», заведующий кафедрой;

Алексеев Алексей Кириллович, доктор физико-математических наук, доцент, ПАО «Ракетно-космическая корпорация “Энергия” имени С.П. Королева», НТЦ-20Ц, главный научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация «Военно-промышленная корпорация «Научно-производственное объединение машиностроения» (АО «ВПК «НПО машиностроения»), г. Реутов в своем положительном заключении, подписанном Прохорчуком Ю.А., к.ф-м.н., начальником отделения 02; Горским В.В., д.т.н., профессором, г.н.с. отделения 02; Котеневым В.П., д.т.н., начальником отдела 02-12; Забарко Д.А., к.ф-м.н., с.н.с. отдела 02-12; Точиловым Л.С., к.ф-м.н., ученым секретарем НТС предприятия, указала, что 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 глубокое понимание решаемой проблемы, так и способность к самостоятельному решению исключительно сложных физико-математических задач, вследствие чего данная диссертация заслуживает положительной оценки, а её автор Пашков Олег Анатольевич достоин присвоения ему степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Соискатель имеет 22 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 9 общим объемом 4,8 п.л.; работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 8; в прочих изданиях – 1.

В опубликованных работах подробно освещены основные подходы, предложенные соискателем по проблеме математического моделирования процессов термо-газодинамики, тепло-массообмена и химической кинетики на поверхностях гиперзвуковых летательных аппаратов. 8 работ написаны в

соавторстве, о чем имеются ссылки в диссертации. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах.

Наиболее значительные работы, опубликованные автором по теме диссертации:

1. Пашков О.А. Расчёт тепло-массообмена вблизи поверхности сферы, обтекаемой гиперзвуковым потоком // Тепловые процессы в технике. 2016. Т. 8, №12. С.537-541.
2. Пашков О.А., Никитин П.В., Быков Л.В. Математическая модель тепло-массообмена на поверхностях теплонапряженных элементов гиперзвукового летательного аппарата // Тепловые процессы в технике 2016. Т. 8. №11. С.482-487.
3. Быков Л.В., Никитин П.В., Пашков О.А. Моделирование обтекания сферического тела гиперзвуковым потоком // Тепловые процессы в технике 2015. Т. 7. №2. с.50-56.
4. Быков Л.В., Никитин П.В., Пашков О.А. Математическое моделирование процессов обтекания затупленного тела высокоскоростным потоком // Труды МАИ. 2014. № 78; URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=53445>.

На диссертацию поступили отзывы:

Отзыв на диссертацию официального оппонента д.т.н., профессора Резника Сергея Васильевича. В отзыве сделаны следующие замечания:

1. В работе все расчёты проведены для осесимметричного гиперзвукового течения набегающего потока на поверхности ГЛА. При продолжении исследований хотелось бы предложить автору провести расчёты теплообмена на поверхности ГЛА при его полёте в атмосфере под углом атаки, когда течение на поверхности аппарата не осесимметричное.

2. При скоростях движения $6 \div 8$ км/с излучение ударной волны становится существенным в теплообмене ГЛА. Тем не менее в диссертации на стр. 51 предполагается, что до скоростей 10 км/с можно пренебречь излучающими

свойствами ударной волны и сжатого слоя. Заметим, что автор не обходит эту проблему стороной, однако формулировка и преобразование уравнения переноса теплового излучения в п. 2.4.2 вызывают ряд вопросов. Исходная формулировка уравнения в форме (2.51) дана без обязательных допущений. Судя по всему, предполагалось, что исследуемая область представляет собой плоский слой. Для цилиндрического и сферического слоя форма уравнения переноса будет иной. Далее, вновь без объяснения уравнение переноса излучения предельно упрощается и в записанном виде (2.52) уже не позволяет учитывать объёмное ослабление излучения, собственное излучение газообразной среды и многократное рассеяние излучения на продуктах деструкции. Такая упрощенная постановка сужает возможности моделирования термо-газодинамики ГЛА, особенно в тех случаях, когда велика вероятность нарушения стойкости конструкционных и теплозащитных материалов.

3. В тексте имеются смысловые и терминологические неточности.

Так, в главе 1 на стр. 18 автор ошибочно утверждает: «...что впервые гиперзвуковой полёт в плотных слоях атмосферы был реализован в рамках спуска с орбиты первых транспортных систем Восток, Восход и Меркурий, которые осуществляли вход с орбиты в атмосферу по баллистической траектории [12]».

Во-первых, пилотируемые космические корабли Восток, Восход и Меркурий только с большой натяжкой можно отнести к транспортным системам. Во-вторых, как известно в 1955 г. в нашей стране впервые в мире была решена проблема «теплового барьера», благодаря успешным испытаниям управляемой баллистической ракеты Р-5 (8К51) с отделяемой головной частью, имевшей теплозащитное покрытие из асботекстолита. Это произошло на 5 лет раньше благополучного возвращения из космоса спускаемого аппарата 2-го корабля-спутника (19 августа 1960 г.) – прототипа космического корабля Восток, на котором 12 апреля 1961 г. Совершил полет в космос Ю.А.Гагарин.

На стр. 19 читаем «... вход с орбиты в плотные слои атмосферы на громадной скорости». Насколько велика громадная скорость по сравнению с гиперзвуковыми скоростями остается только догадываться.

На стр. 20 автор пишет: «...была начата разработка космической системы «Спираль» [13], которая должна была состоять из орбитального самолёта, выводимого в космос гиперзвуковым самолётом-разгонщиком, а затем на орбиту с помощью ракетной ступени». Неточность состоит в том, самолет- перехватчик «Спирали» имел самостоятельную ракетную ступень для достижения орбитальной скорости после отделения от гиперзвукового самолета-разгонщика. Другими словами, самолёт-разгонщик служил лишь первой ступенью системы космического перехвата.

Отзыв на диссертацию официального оппонента доктора физико-математических наук, доцента Алексева Алексея Кирилловича. В отзыве сделаны следующие замечания:

1. По тексту диссертации неясно, с какой целью выбрана модель лучистого переноса, не учитывающая свойств сжатого слоя.

2. По устоявшейся на данное время терминологии (AIAA G-077-1998) “верификация” соответствует оценкам точности вычислительной реализации модели, сравнение же с экспериментальными данными применяется для “валидации” модели, а именно, проверки соответствия используемой модели исследуемой физике (Автореферат, стр. 6).

Отзыв на диссертацию ведущей организации АО «ВПК «НПО машиностроения», в котором сделаны следующие замечания:

1. 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 расчёты 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.

2. Используемый автором подход, предназначенный для вычисления турбулентного диффузионного потока каждого компонента по турбулентной вязкости, отсутствует в указанном источнике [68].

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

4. В работе не описана модель релаксации колебательных степеней свободы многоатомных молекул.

5. Тестовые расчёты на сеточную сходимость, приведенные в диссертации, получены при использовании равномерного разбиения области определения искомых функций по нормальной координате.

6. В диссертации, к сожалению, отсутствуют результаты сравнения расчётных и экспериментальных данных, выполненных для условий летного эксперимента аппаратов серии РАМ-С.

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

На автореферат поступили следующие отзывы:

- отзыв ПАО ТМКБ «Союз», подписанный ведущим научным сотрудником экспериментально-исследовательского отдела ПАО ТМКБ «Союз», к.т.н. Петренко Владиславом Михайловичем и утвержденный первым заместителем генерального директора-главным конструктором ПАО ТМКБ «Союз» Костенко Иваном Ивановичем. В качестве недостатков отмечено:

В автореферате без обоснования продекларирована правомерность исключения из уравнения энергии излучения ударной волны и сжатого слоя, а также что исследованиям по влиянию количества используемых реакций химической кинетики и модели турбулентности посвящено достаточно много отдельных работ, поэтому первоначальное допущение, сделанное автором о

возможности использования в расчетах пятикомпонентной газовой смеси можно считать нецелесообразным, что и было доказано дальнейшими исследованиями.

- отзыв ФКП «НИЦ РКП», подписанный главным научным сотрудником, д.т.н., профессором Галеевым А.Г., начальником отдела Рыжковым А.Т., старшим научным сотрудником, к.т.н. Орловым В.А. Замечания:

1. Не ясно, как рассчитывалась температура поверхности носка фюзеляжа малоразмерного возвращаемого крылатого гиперзвукового аппарата.

2. В математической модели проведён произвольный выбор температуры стенки в качестве граничных условий. Тепловой поток от газовой струи к элементу конструкции ЛА определяется, в том числе, и температурой стенки, которую можно вычислить, зная параметры этой стенки (толщину, теплоемкость, теплопроводность, и т.д.). Для этого должна решаться более комплексная задача сопряженного теплообмена - задача газодинамики в набегающем воздушном потоке и теплоперенос в твердом теле.

- отзыв ФГУП ЦНИИмаш», подписанный начальником центра теплообмена и аэродинамики, к.ф.-м.н. Ковалевым Р.В., ведущим научным сотрудником, к.ф.-м.н. Горшковым А.Б. Отмечены следующие недостатки:

1. В автореферате отсутствует информация об используемом численном методе решения уравнений Навье-Стокса.

2. Приведены результаты по сходимости по сетке расчётных данных в окрестности ударной волны, но нет аналогичных данных по сходимости для теплового потока на поверхности, что более важно для практических приложений.

3. Указано, что разработанная математическая модель дополнена гибридной моделью турбулентности Transition SST, но результатов расчётов с её использованием в автореферате не приведено.

- отзыв «Научно-производственного объединения им. С.А.Лавочкина», подписанный ведущим научным сотрудником ФГУП «НПО им. С.А.

Лавочкина», д.т.н. Иванковым А.А., ведущим конструктором ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», к.т.н. Клишиным А.Ф. и утвержденный помощником генерального директора по науке, д.т.н., профессором Ефановым В.В. Отмечены 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.

- отзыв Завелевича Феликса Самуиловича, доктора технических наук, старшего научного сотрудника, начальника лаборатории ГИЦ ФГУП «Центр Келдыша». В качестве замечаний, отмечено:

1. В автореферате практически не описаны математические методы и не указаны программные комплексы, с помощью которых были построены расчетные сетки.

2. В уравнении (1) отсутствует описание вектора **H**.

- отзыв Зуева Андрея Владимировича, кандидата технических наук, зам. начальника лаборатории «Исследование теплофизических свойств» ФГУП «ВИАМ». Замечание:

Неудачно выбранная форма представления графических результатов, а также отсутствие ссылок на источник данных о свойствах ионизированных газовых компонентов.

- отзыв АО «Корпорация «МИТ», подписанный зам. начальника отделения – начальником отдела, старшим научным сотрудником, к.т.н. Головиным Н.Н., начальником сектора Шустовым А.А. Недостатки:

Из автореферата непонятно, является ли программный комплекс, используемый при проведении расчётов, собственной разработкой диссертанта и каковы характеристики этого программного продукта, а также не понятна процедура оценки точности разработанной математической модели.

- отзыв Василевского Эдуарда Борисовича, доктора технических наук, главного научного сотрудника НИО-8 НИК-40 ФГУП «ЦАГИ». Замечания:

1. В автореферате при оценке предложенной математической модели автор утверждает, что впервые с использованием модели могут проводиться расчеты, как в строгой, так и в упрощенной постановке. На наш взгляд этот вывод является неточным, поскольку математические модели аналогичного плана созданы в ЦАГИ, МГУ, ЦНИИмаш.

2. В автореферате не описана модель релаксации колебательных степеней свободы многоатомных молекул и её влияние на теплообмен.

Выбор ведущей организации проводился в соответствии с п. 24 Положения о присуждении учёных степеней.

Акционерное общество «Военно-промышленная корпорация «Научно-производственное объединение машиностроения», входящая в состав Корпорации «Тактическое ракетное вооружение», является одним из ведущих ракетно-космических предприятий России. Как головное предприятие в многопрофильной кооперации обеспечивает Вооруженные Силы Российской Федерации новейшими видами военной техники, осуществляет военно-техническое сотрудничество с зарубежными партнерами.

За свою более чем семидесятилетнюю историю АО "ВПК "НПО машиностроения" разработало и сдало на вооружение более 25-ти ракетных и

ракетно-космических комплексов различного назначения: первые в мире спутники морской глобальной космической разведки, маневрирующие космические аппараты, тяжелая ракета-носитель "Протон" и выводимые на орбиту с её помощью пилотируемые и автоматические космические станции, комплексы с межконтинентальными баллистическими ракетами, высокоэффективные крылатые ракеты различного назначения.

Уникальный опыт в области ракетно-космических технологий, накопленный сотрудниками АО "ВПК "НПО машиностроения", обеспечивает возможность объективной оценки научной и практической ценности диссертации Пашкова О.А.

В соответствии с п. 22 Положения о присуждении учёных степеней в качестве официальных оппонентов по диссертации Пашкова О.А. были выбраны учёные, способные провести компетентную оценку диссертации с точки зрения её научной значимости и практической ценности для предприятий, занимающихся разработкой изделий ракетной и ракетно-космической техники.

В качестве первого оппонента выступил д.т.н., профессор Резник Сергей Васильевич, работающий в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» в должности заведующего кафедрой «Ракетно-космические композитные конструкции». Резник С.В. является автором более чем двухсот работ в области теплового проектирования, производства и испытания объектов ракетно-космической техники.

В качестве второго оппонента был выбран Алексеев Алексей Кириллович, выпускник Факультета аэрофизики и космических исследований МФТИ, доктор физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник ПАО «Ракетно-космическая корпорация "Энергия" имени С.П. Королева». Алексеев А. К. является автором более чем

пятидесяти работ в области решения уравнений газодинамики методами математического моделирования, в частности применительно к задачам обтекания тел высокоскоростными потоками.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана комплексная математическая модель процессов термогазодинамики и тепло-массообмена, происходящих на поверхности ГЛА, основанная на решении уравнений механики сплошной среды и позволившая выявить качественно новые закономерности, получать достоверные данные по тепло-массообмену на теплонапряженных элементах конструкции ГЛА с применением стандартных расчётных ресурсов;

доказана правомерность применения разработанной математической модели и корректность получаемых результатов путём сравнения полученных параметров процессов термогазодинамики и тепло-массообмена с экспериментальными и расчётными данными других авторов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы математического моделирования высокоскоростных течений сплошной среды, основанные на решении уравнений Навье-Стокса и уравнений дополнительных моделей (химической кинетики, турбулентности, лучистого теплообмена), дискретизованных по методу конечного объема;

проведена модернизация существующих методов математического моделирования с целью расширения их функциональных возможностей и пределов применимости для моделирования гиперзвуковых неизотермических течений с неравновесными химическими реакциями и для решения задач термогазодинамики и тепло-массообмена.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

создана на основании уже существующих методов математического моделирования модель процессов термо-газодинамики и тепло-массообмена, происходящих на поверхности ГЛА, которая позволяет получать достоверные данные по тепло-массообмену на теплонапряженных элементах конструкции ГЛА с применением стандартных расчётных ресурсов при уменьшении времени расчёта;

определены пределы применимости разработанной модели и корректность её использования для изучения процессов термо-газодинамики и тепло-массообмена на теплонапряженных элементах поверхности гиперзвуковых летательных аппаратов;

проведены исследования по влиянию структуры расчётной сетки на результаты расчётов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

математическая модель построена на известных законах сохранения массы химических компонентов, количества движения и энергии; установлено качественное и количественное совпадение результатов, полученных с использованием предложенной математической модели, с экспериментальными и расчётными данными других авторов.

Личный вклад соискателя состоит в:

- анализе и систематизации опубликованной информации, касающейся изучения процессов термо-газодинамики, тепло-массообмена и неравновесных химических реакций, протекающих вблизи поверхности ГЛА;

- разработке на основании проведенного анализа математической модели, позволяющей достоверно определить параметры процессов термо-газодинамики и тепло-массообмена с учётом изменения теплофизических свойств компонентов газовой смеси, неравновесных химических реакций, протекающих в ударной волне, сжатом и пограничном слое, а также с учётом эффектов турбулентности;

