

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: 24.2.327.06

Соискатель: Грибиненко Дмитрий Валерьевич

Тема диссертации: Математическое моделирование тепломассообмена в термохимически неравновесных потоках при полете высокоскоростных летательных аппаратов

Специальность: 1.3.14. – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации.

На заседании 19 декабря 2022 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, приведенным в "Положении о присуждении ученых степеней", утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, и принял решение присудить Грибиненко Дмитрию Валерьевичу ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: д. техн. наук, ст. научный сотрудник Агульник Алексей Борисович, д. техн. наук, доцент Краев Вячеслав Михайлович, д. техн. наук, профессор Абашев Виктор Михайлович, д. техн. наук, профессор Демидов Анатолий Семенович, д. техн. наук, ст. научный сотрудник Кочетков Юрий Михайлович, д. техн. наук, профессор Лесневский Леонид Николаевич, д. техн. наук, профессор, член-корр. РАН Марчуков Евгений Ювенальевич, д. техн. наук, профессор Молчанов Александр Михайлович, д. техн. наук, профессор Мякочин Александр Сергеевич, д. техн. наук Надирадзе Андрей Борисович, д. техн. наук, профессор Назаренко Игорь Петрович, д. техн. наук, профессор Ненарокомов Алексей Владимирович, д. техн. наук, профессор Никитин Петр Васильевич, д. техн. наук, профессор, академик РАН Попов Гарри Алексеевич, д. техн. наук, доцент Силуянова Марина Владимировна, д. техн. наук Тимушев Сергей Федорович, д. техн. наук, профессор Хартов Сергей Анатольевич.

Ученый секретарь диссертационного совета

24.2.327.06, д.т.н., доцент

Краев В.М.



Начальник отдела

Краев В.М.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.06,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 19.12.2022 г. № 25

О присуждении Грибиненко Дмитрию Валерьевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Математическое моделирование тепломассообмена в термохимически неравновесных потоках при полёте высокоскоростных летательных аппаратов» по специальности 1.3.14. – «Теплофизика и теоретическая теплотехника» принята к защите 14.10.2022 г., (протокол заседания № 6) диссертационным советом 24.2.327.06, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации; 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4; приказ Минобрнауки РФ о создании диссертационного совета – №669/нк от 24.06.2022 г.

Соискатель Грибиненко Дмитрий Валерьевич, 05.01.1988 года рождения. В 2018 году соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)». В 2022 году окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

В период подготовки диссертации соискатель работал в федеральном автономном учреждении "Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского" в лаборатории № 2 в должности инженера. На данный момент соискатель работает в обществе с ограниченной ответственностью «АвтоМеханика» в должности программиста.

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

Научный руководитель – доктор технических наук Молчанов Александр Михайлович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», доцент.

Официальные оппоненты:

Мартыненко Сергей Иванович, доктор физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединённый институт высоких температур Российской академии наук, ведущий научный сотрудник;

Алексеев Алексей Кириллович, доктор физико-математических наук, публичное акционерное общество «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва», НТЦ «Расчётно-теоретического обеспечения», главный научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва, в своём положительном отзыве, подписанном Чирковым А.Ю., доктором физико-математических наук, доцентом, заведующим кафедрой теплофизики, Гришиным Ю.М., доктором технических наук, профессором, профессором кафедры теплофизики и утверждённом Дрогозовом П.А., проректором по науке и цифровому развитию, указала, что практическая значимость диссертации заключается в том, что разработанный с применением параллельных вычислений компьютерный код Universe3D может быть использован для решения широкого круга возникающих при расчёте высокоскоростных летательных аппаратов задач с высокой точностью и за приемлемое время. Диссертационная работа Грибиненко Дмитрия Валерьевича «Математическое моделирование тепломассообмена в термохимически неравновесных потоках при полёте высокоскоростных летательных аппаратов» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, которая посвящена актуальной научной проблеме, имеющей практическое и теоретическое значение. Она удовлетворяет всем критериям, установленным «Положением о порядке присуждения учёных степеней», а ее автор Грибиненко Дмитрий Валерьевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.3.14. «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Соискатель имеет 8 опубликованных работ, все по теме диссертации, общим объёмом 1,08 п.л., из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 3 работы. Из 8 опубликованных работ: 3 – статьи в научных журналах из списка ВАК или в журналах, входящих в системы цитирования

Scopus, 5 – тезисы докладов на конференциях. Одна работа написана автором самостоятельно, остальные в соавторстве.

Научные работы соискателя посвящены: моделированию тепломассообмена во внешних и внутренних высокоэнергетических, химически реагирующих, термодинамически неравновесных потоках; вопросам эффективного применения параллельных вычислений и учёту особенностей современных программных систем при создании программой реализации разработанного автором численного метода.

Личный вклад автора заключается в: разработке численного метода, подборе экспериментов для проведения верификационных расчётов; реализации программного кода, используемого для проведения расчётов; построении расчётных сеток; проведении расчётов и сопоставлении результатов с данными экспериментальных исследований;

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах.

Наиболее значимые работы:

1. Молчанов А.М., Грибиненко Д.В., Янышев Д.С. Численное моделирование воспламенения горючего в камере сгорания ГПВРД // Тепловые процессы в технике. 2021. Т.13, №4. С. 148-155.

2. Грибиненко Д.В. Численное моделирование обтекания сферы высокоэнергетическим потоком газа // Тепловые процессы в технике. 2022. Т.14, №1. С. 30-34.

3. Gribinenko D.V., Molchanov A.M., Siluyanov M.V., Yanyshev D.S. Utilization of parallel computing for mathematical modeling of high-enthalpy flows // Journal of Physics: Conference Series. 2022. V. 2308, No. 1. Art. 012010. P. 1-6. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2308/1/012010/pdf>

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы (все отзывы положительные).

Отзыв на диссертацию официального оппонента Мартыненко С.И., доктор физико-математических наук, профессора содержит замечания:

1. В Главе 1. (обзор литературы) не отражено современное состояние математического моделирования тепломассообмена в термодинамически неравновесных потоках при полётах высокоскоростных летательных аппаратов в США, ЕС, КНР и других странах. Какие результаты опубликованы в открытой печати? Какие модели, сетки и параллельные алгоритмы используют за рубежом?

2. Как вычислялось выражение F_{cent} в ф. (2.44, 2.45) на стр. 35?

3. Как изменяется размер этих структур в пристеночной области ($y^+ \rightarrow 0$) в ф. (2.56) на стр. 40 диссертации?

4. Что нового в математической модели тепломассообмена, представленной в Главе 2, по сравнению с аналогичными моделями?

5. По-видимому, в ф. (3.4) на стр. 44 диссертации речь идёт о факторизации матрицы коэффициентов.

В диссертации указаны три известных способа представления невязкого потока на j -ой грани, однако не ясно какой из них использован в вычислительном алгоритме.

6. Каков порядок конечно-объёмной аппроксимации по времени и пространству? Какова алгоритмическая трудоёмкость представленных методов решения СЛАУ? Какое характерное количество неизвестных образует вектор неизвестных?

7. Раздел 3.8 можно заменить фразой «Результирующая СЛАУ решена при помощи симметричного метода Гаусса-Зейделя».

8. Не вполне понятно, что автор подразумевает под жёсткостью источника в 3.9?

9. На странице 137 диссертации на рис. 5.66 Учёт химических реакций приводит к почти двукратному увеличению давления на верхней стенке в этом и последующих расчётах. Какова причина данного эффекта?

10. Заключение соответствует поставленным задачам, однако содержит только качественное описание полученных результатов. К сожалению, отсутствие количественного сравнения с аналогичными моделями и алгоритмами затрудняет оценку достигнутого прогресса в области построения математических моделей, развития численных методов и моделирования тепломассообмена в термохимически неравновесных потоках.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Алексева А.К., доктор физико-математических наук, доцента содержит замечания:

1. Понятие термодинамической энергии и соответствующее уравнение (Глава 2) описаны излишне скупо, без разъяснения мотивации.

2. В Таблицах 5.11 и 5.12 диссертации (табл. 5 и 6 автореферата) в графе температура присутствует опечатка, не соответствующая ни физическому смыслу, ни последующим рисункам.

Отзыв на диссертацию ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» содержит замечания:

1. Построенный автором численный метод и программа, в которой он реализован, позволяют производить вычисления с одновременным учётом

термической и химической неравновесности потока, но при этом вопрос их взаимного влияния практически не затронут.

2. Не обсуждается сравнение результатов численного моделирования химически неравновесного течения с расчётами химически равновесных течений с переменными теплофизическими свойствами.

3. Недостаточно оговорены границы применимости различных моделей химической кинетики, рассматриваемых в работе.

4. В задаче о спускаемом аппарате не обсуждается влияние теплообмена излучением.

Отзыв на автореферат диссертации акционерного общества «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина», составленный главным научным сотрудником, доктором технических наук, профессором Ефановым В.В., заместителем начальника отдела исследования внешних воздействующих факторов и проектирования защиты от них Никитиным А.М. и утверждённый заместителем генерального директора по научной работе, доктором технических наук, профессором Шевченко С.Н. содержит замечания:

1. По тексту автореферата не представлено исследование сходимости решений на сгущающихся сетках.

2. В проводимых тестированиях предложенной модели приведено сравнение расчётных значений плотности теплового потока с экспериментальными только в критической точке. Было бы полезно представить сравнение расчётного распределения теплового потока вдоль поверхности аппарата и полученного в эксперименте (в т.ч. лётном).

3. В тексте автореферата имеются незначительные помарки и опечатки, такие, как например, значения температуры в таблицах 5 и 6.

Отзыв на автореферат диссертации сотрудников акционерного общества «Корпорация «Московский институт теплотехники», составленный заместителем начальника отделения – начальником отдела, старшим научным сотрудником, кандидатом технических наук **Головиным Н.Н.**, заместителем начальника отдела **Майской Е.В.** и инженером 1-й категории **Батыгиной В.К.** содержит замечания:

1. Из автореферата не ясно, какая постановка задачи использовалась при исследовании ускорения вычислений за счёт параллельных технологий.

2. Нет информации, используется ли только стандарт MPI, или же для параллельных вычислений на одном узле используется OpenMP.

3. В автореферате отсутствуют сведения о том, как и какими средствами строятся неструктурированные и структурированные сетки.

4. При описании решения задачи обтекания спускаемого аппарата OREX не указано, какая используется модель турбулентности, тогда как её выбор оказывает существенное влияние на величину рассчитываемых тепловых потоков.

5. Не ясно, почему полученные тепловые потоки (рисунки 3 и 4) с учётом каталитической активности поверхности больше расходятся с экспериментом, нежели без учёта, хотя для углерод-углеродного композиционного материала, из которого выполнена передняя часть аппарата, в воздушной среде уже при температуре 400-650°C начинается окисление, то есть учёт каталитической активности является уточнением постановки задачи.

6. В таблицах 5 и 6 присутствуют температуры, в ~100 раз превышающие температуру поверхности Солнца, что вызывает некоторые сомнения.

7. На странице 7 есть термин «угол наклона конуса» - скорее должно быть «угол полураствора конуса».

8. На странице 19 введён термин «трудно проталкивать», требующий дополнительного пояснения.

9. В пункте 7 заключения упомянуты «методические рекомендации по организации параллельных вычислений», суть которых из автореферата не ясна.

10. В автореферате присутствуют множественные грамматические (стр. 7, 18), пунктуационные (стр. 3, 16, 20) ошибки и опечатки (стр. 3, 6, 7, 8, 16, 18).

Отзыв на автореферат диссертации Кузма-Кичта Ю.А., доктора технических наук, профессора, профессора кафедры инженерной теплофизики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» содержит замечания:

1. В автореферате разработанная методика приводится в очень сжатом виде.

2. Отсутствует сравнение с аналогичными методиками других авторов.

Отзыв на автореферат диссертации акционерного общества «Корпорация космических систем специального назначения «Комета», составленный начальником лаборатории, кандидатом технических наук Жидковым П.М., заместителем начальника лаборатории, кандидатом технических наук Прокофьевой В.В. и утверждённый заместителем генерального директора, заместителем генерального конструктора, доктором технических наук, старшим научным сотрудником Литовченко Д.Ц. содержит замечания:

1. При решении практических задач автор не всегда чётко формулирует, какие именно из рассматриваемых в диссертации подходов и моделей он применяет.

2. Вопросы реализации конкретных расчётов следовало бы рассмотреть подробнее.

Отзыв на автореферат диссертации сотрудника публичного акционерного общества «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва», старшего научного сотрудника отдела по гидравлическим системам терморегулирования и теплообменным агрегатам, кандидата технических наук **Лексина М.А.** содержит замечания:

1. В автореферате содержание глав 2 и 3 представлено излишне кратко.

2. В работе не указано, каким методом производится вычисление температуры газовой смеси.

3. При описании расчёта модельного прямоточного воздушно-реактивного двигателя (ПВРД) в качестве граничного условия указана температура набегающего потока в входе в расчётную область (координата $X=0$) 226,5 К. При представлении результатов расчёта на рисунках 20 и 23 автореферата, согласно приведённой цветовой палитре, температура во входном сечении соответствует 125 К.

4. При описании расчёта рабочего процесса в прямоточном двигателе гипотетического космического летательного аппарата, предназначенного для работы в атмосфере Юпитера в качестве граничных условий на входе указана температура газа атмосферы Юпитера 756274 К (Таблица 5), а температура предварительно разогретого окислителя (смеси кислорода с продуктом сгорания) – 656274 К (Таблица 6). Кроме того, газ атмосферы Юпитера предварительно «сжимается» во входном устройстве с 4374 Па до 621,6 Па. Указанные данные явно являются опечаткой.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в отрасли науки, к которой относится диссертационная работа Грибиненко Д.В., что подтверждается их научными публикациями в данной области.

Выбор Алексева А.К., доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника, обосновывается его большим опытом в области численного моделирования процессов газовой динамики и теплообмена, проведения экспериментальных исследований аэродинамических характеристик летательных аппаратов различных типов, а также исследований поведения летательных аппаратов в условиях сложного взаимодействия с различными видами течений. Алексей А.К. регулярно публикует в рецензируемых научных журналах, в том числе в изданиях, входящих в международные системы цитирования, выступает на российских и международных конференциях. Его работы посвящены проблемам численного моделирования процессов газовой динамики, исследованиям особенностей и характеристик течений при взаимодействии с элементами летательного аппарата.

Выбор Мартыненко С.И., доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника, обосновывается его широкой компетентностью в вопросах численного моделирования процессов газовой динамики и теплообмена, построении расчётных сеток и моделировании процессов горения. Мартыненко С.И. регулярно публикует статьи по тематике диссертации в рецензируемых журналах, в том числе в международных, имеет изданную монографию, а также участвует в конференциях высокого уровня, например, в ECCOMAS Congress 2016. Мартыненко Сергей Иванович занимается разработкой и оптимизацией качеств авиационных топлив.

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

(национальный исследовательский университет)» выбрана в соответствии с её высоким уровнем достижений в области тепло- и массообмена. Университет выполняет ряд научно-исследовательских работ, имеющих целью повышение эффективности и технического уровня ракетно-космической промышленности. Коллектив кафедры теплотехники МГТУ им. Н. Э. Баумана имеет большое количество учебных пособий и трудов в рецензируемых научных журналах, в том числе в изданиях, входящих в международные системы цитирования. Специалисты ведущей организации, в том числе составившие отзыв на диссертацию, обладают большим опытом изучения тепло- и массообмена.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- построена математическая модель течения вязкой газовой смеси с неравновесными химическими реакциями и энергетическими переходами;
- разработан численный метод решения системы уравнений газовой динамики, химической кинетики и энергетических переходов на неструктурированной сетке;
- предложен новый эффективный полностью связанный численный метод решения жестких уравнений химической кинетики;
- выработаны методические рекомендации по организации параллельных вычислений при численном решении уравнений механики сплошной среды, направленные на ускорение расчётов;
- разработана схема двигателя и рекомендации по созданию двигателя для полетов в атмосфере Юпитера.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- создана математическая модель, позволяющая с высокой точностью проводить расчёт тепломассообмена в термохимически неравновесных потоках.

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

- разработан программный код, который может быть использован для решения задач возникающих при расчёте высокоскоростных летательных аппаратов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- математическая модель согласуется с фундаментальными уравнениями термогазодинамики, тепломассообмена и химической кинетики;

- достоверность математической модели подтверждена сравнением результатов расчёта с опубликованными экспериментальными данными.

Личный вклад соискателя состоит в:

- участии в разработке метода расчёта тепломассообмена в нестационарных, вязких, химически реагирующих, термохимически неравновесных течениях;

- участии в создании численного метода решения уравнений движения химически и термически неравновесного газа с жёсткими источниками;

- создании высокопроизводительной и масштабируемой по объёму задачи и числу процессорных ядер программной реализации предложенного численного метода с использованием параллельных вычислений и с учётом особенностей современных вычислительных систем.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний, которые бы ставили под сомнение обоснованность научных

положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизну.

Соискатель Грибиненко Д.В. ответил обстоятельно и аргументированно на все задаваемые ему в ходе заседания вопросы.

На заседании 19.12.2022 г. диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи разработки методики расчёта тепломассообмена в термодинамически неравновесных потоках, имеющей значение для развития авиационно-космической техники, присудить Грибиненко Д.В. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 18, против - нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета 24.2.327.06
д. техн. наук, профессор



Равикович Юрий Александрович

Учёный секретарь
диссертационного совета 24.2.327.06
д. техн. наук, доцент

Краев Вячеслав Михайлович

21 декабря 2022 г.

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to the secretary mentioned in the text above.