

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: Д 212.125.14

Соискатель: Харченко Николай Анатольевич

Тема диссертации: «Численное моделирование аэротермодинамики высокоскоростных летательных аппаратов».

Специальность: 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Решение диссертационного совета по результатам защиты: На заседании 24 декабря 2021 года, протокол № 8, диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, и принял решение присудить Харченко Николаю Анатольевичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

Присутствовали: Красильников П.С. – *председатель*, Гидаспов В.Ю. – *ученый секретарь*, а также члены диссертационного совета: Холостова О.В., Бардин Б.С., Бишаев А.М., Буров А.А., Колесник С.А., Косенко И.И., Котельников В.А., Котельников М.В., Никитченко Ю.А., Овчинников М.Ю., Рябов П.Е., Формалев В.Ф., Ципенко А.В., Черепанов В.В., Шамолин М.В.

Председатель диссертационного
совета Д 212.125.14,
доктор физико-математических наук,
профессор

Красильников
Павел Сергеевич

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.125.14,
доктор физико-математических наук

Гидаспов Владимир
Юрьевич

Нач
Т.А.



МАИ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.14,
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 УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 24 декабря 2021 г. № 8

О присуждении Харченко Николаю Анатольевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Численное моделирование аэротермодинамики высокоскоростных летательных аппаратов», представленная к защите по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы», принята к защите 21.10.2021 г., протокол № 5, с уточнениями 26.11.2021 г., протокол № 7, диссертационным советом Д 212.125.14, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 125993, Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д.4, приказ Минобрнауки РФ о создании совета - № 714/НК от 02.11.2012.

Соискатель Харченко Николай Анатольевич, 1992 года рождения, в 2017 году окончил федеральное государственное автономное

образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» по специальности «Прикладная математика и физика» с присуждением квалификации «Магистр» (диплом серия 107724 номер 2043176 от 17.07.2017 г.).

В период с 2017 г. по 2021 г. проходил обучение в очной аспирантуре на кафедре физической и химической механики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» по специальности «Математика и механика» (диплом серия 107724 номер 5975822 от 10.07.2021 г.).

В настоящее время Харченко Н.А. работает в должности ведущего специалиста АО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение».

Диссертация выполнена на кафедре физической и химической механики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Авиационно-космическая теплотехника» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Молчанов Александр Михайлович.

Официальные оппоненты:

1. Иванов Владислав Сергеевич, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник ФГБУН «Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова РАН».
2. Горшков Андрей Борисович, гражданин Российской Федерации, кандидат физико-математических наук, ведущий научный

сотрудник центра прикладных исследований АО «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения».

Все оппоненты дали положительное заключение о диссертации.

Ведущая организация – Федеральное автономное учреждение «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова» (ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова») (111116, Москва, ул. Авиамоторная, 2) представила положительный отзыв, который подписан заместителем директора по науке и эксперименту исследовательского центра «Аэрокосмические двигатели и химмотология» ФАУ «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова», кандидатом технических наук Александровым Вадимом Юрьевичем; начальником отдела «Аэрокосмические двигатели» ФАУ «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова», доктором технических наук Арефьевым Константином Юрьевичем; заместителем начальника отдела «Аэрокосмические двигатели» по научному направлению ФАУ «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова», кандидатом физико-математических наук Гуськовым Олегом Вячеславовичем и утвержден заместителем генерального директора, директором исследовательского центра «Аэрокосмические двигатели и химмотология» ФАУ «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова», кандидатом технических наук Прохоровым Александром Николаевичем.

В отзыве ведущей организации указано, что диссертация Харченко Н.А. «Численное моделирование аэротермодинамики высокоскоростных летательных аппаратов» выполнена на высоком физико-математическом уровне, а проведенные в работе исследования являются научно-обоснованными и имеют практическую значимость в области вычислительной аэротермодинамики. Диссертационная работа представляет

собой завершённую научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям, предъявляемым ВАК России к кандидатским диссертациям по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы, а её автор, Харченко Николай Анатольевич, несомненно, заслуживает присуждения ему искомой степени кандидата физико-математических наук.

Замечания по диссертации:

1. Целесообразным представляется показать не только качественное, но и количественное сопоставление результатов численного моделирования, проведенного соискателем, с данными опубликованных экспериментов и расчётов других авторов. Полезным также могло быть сопоставление известных теневых картин сверхзвукового обтекания тел с результатами расчётов.
2. Не представлено сравнение результатов численного моделирования химически неравновесного течения с расчетами термодинамически равновесных течений с переменными теплофизическими свойствами.
3. В диссертации не приведено описание технологии проведения параллельных вычислений с использованием разработанного компьютерного кода. А также не показана методика и не представлены требования к построению расчетных сеток.
4. В качестве рекомендации для дальнейшего развития авторского компьютерного кода можно предложить учесть влияние турбулентности в используемой физико-математической модели.

Диссертационная работа обсуждена и одобрена на заседании НТС отдела «Аэрокосмические двигатели» ФАУ «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова», по результатам которого был утвержден отзыв (Протокол № 5 от 12 ноября 2021 г.)

Соискатель имеет 5 публикаций по теме диссертации, из которых 4 публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. *Kharchenko N., Kotov M.* Analysis of the High Speed Gas Flow over a Sphere in the Range of Mach Numbers 2–12 // J. Phys.: Conf. Ser. 2018.Vol. 1009, p. 6
2. *Kharchenko N., Kryukov I.* Aerothermodynamics calculation of the EXPERT reentry flight vehicle // J. Phys.: Conf. Ser. 2018.Vol. 1009, p. 8
3. *Kharchenko N., Kotov M.* Aerothermodynamics of the Apollo-4 spacecraft at earth atmosphere conditions with speed more than 10 km/s // J. Phys.: Conf. Ser. 2019. Vol. 1250, p. 10
4. *Макеич Г.С., Харченко Н.А., Крюков И.А.* Расчет аэродинамики и динамики полета спускаемого летательного аппарата EXPERT // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2017. Т. 18, № 2. 19 с.
5. *Бессонов О.А., Харченко Н.А.* Программная платформа для суперкомпьютерного моделирования задач аэротермодинамики // Программная инженерия. 2021. Т. 12, № 6 с. 302 – 310

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

Отзыв на диссертацию официального оппонента, доктора физико-математических наук Иванова Владислава Сергеевича, заверенный ученым секретарем ФГБУН «Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова РАН», кандидатом физико-математических наук Ларичевым М.Н. Отзыв положительный, содержит замечания:

1. Непонятно, почему для задач гиперзвукового моделирования, не требующих учета физико-химических процессов в газе, выбрана модель совершенного газа с постоянной теплоемкостью (формула (19)), тогда как для расчетов с кинетикой используется подход с переменной

теплоёмкостью. Несмотря на отсутствие диссоциации и ионизации воздуха его теплоемкость может значительно изменяться. Например, теплоемкость воздуха при температурах 300 К и 1600 К увеличивается почти в 1,5 раза, что может оказать существенное влияние на значение температуры и плотности газа в окрестности аппарата.

2. Выбор явной схемы интегрирования по времени в задачах на установление с отрывными течениями требует проверки на сходимость результатов моделирования по разрешению расчетной сетки. Такое сравнение в диссертации не приведено.
3. Автор в работе рассматривает в большей части ламинарные течения, что ограничивает практическую применимость представленной физико-математической модели.
4. Автор не приводит описание принципов распараллеливания вычислений разработанного вычислительного кода.
5. Есть и другие незначительные замечания. Например, при описании способа сохранения численной устойчивости в течении с сильными ударными волнами непонятно, к какому уравнению относится формула (36): следовало бы дать ссылку на формулу (25) и др.

Отзыв на диссертацию официального оппонента, кандидата физико-математических наук Горшкова Андрея Борисовича, заверенный и.о. главного ученого секретаря АО «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», доктором технических наук Ключниковым В.Ю. Отзыв положительный, содержит замечания:

1. На графиках распределения температуры в сжатом слое, представленном в главе 6, наблюдается расхождение в результатах, полученных при решении уравнений химической кинетики с моделью Парка и с использованием термодинамической модели Крайко. Из этих

же графиков видно, что сгущение расчетной стеки у поверхности аппарата недостаточное для получения значений теплового потока.

2. При использовании соотношений для описания процессов диффузии, приведенных в главе 2 (закон Фика и формула Уилки для коэффициентов диффузии), сумма диффузионных потоков химических компонент не равна нулю, что может влиять на распределение концентраций компонент в областях, где диффузия существенна.
3. Некоторые библиографические ссылки неполные, в частности на зарубежные научные конференции.

На автореферат диссертации поступило 6 отзывов. Все поступившие отзывы положительны. В поступивших отзывах отмечается актуальность и научная новизна диссертационного исследования, практическая значимость полученных результатов работы.

ФГУП «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского». Отзыв подписан: научный руководитель ФГУП «ЦАГИ», академик РАН, доктор физико-математических наук Чернышев Сергей Леонидович, и заверен: ученый секретарь диссертационного совета Д 403.004.01 ФГУП «ЦАГИ» Брутян М.А. Отзыв положительный, в отзыве представлены замечания:

1. Необоснованна необходимость сравнения результатов, полученных с помощью разработанного компьютерного кода, с экспериментальными данными обтекания тел на дозвуковых и трансзвуковых режимах.
2. Не представлена относительная разница между численным решением и экспериментальными данными по коэффициенту сопротивления сферы (рисунок 5) и тепловых потоков на осесимметричных телах (рисунки 11 и 13).
3. Не представлено сравнение результатов работы компьютерного кода ГРАТ с результатами расчетов, полученных по программам NASA.

4. В работе не представлен анализ точности определения моментных характеристик летальных аппаратов с помощью разработанного компьютерного кода.

АО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение». Отзыв подписан и утвержден: Первый заместитель генерального директора – заместитель по НИОКР АО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение» Ярмолюк Владимир Николаевич. Отзыв положительный, в отзыве сделано замечание, что экспериментальные исследования, подобранные автором для валидации полученных результатов численного моделирования, представлены относительно для простых геометрических тел, в то время как аэродинамическая компоновка летательных аппаратов является значительно более сложной.

АО «Военно-промышленная корпорация «Научно-производственное объединение машиностроения». Отзыв подписан: заместитель начальника ЦКБМ, начальник отделения аэродинамики и баллистики АО «ВПК «НПО машиностроения», кандидат физико-математических наук Прохорчук Юрий Алексеевич, начальник отдела АО «ВПК «НПО машиностроения», доктор технических наук Котенев Владимир Пантелеевич, старший научный сотрудник АО «ВПК «НПО машиностроения», кандидат технических наук Закиров Мазит Ахметович, и заверен: ученый секретарь НТС АО «ВПК «НПО машиностроения», кандидат физико-математических наук Точиллов Л.С. Отзыв положительный, в отзыве представлены замечания:

1. Приводимые в автореферате результаты относятся к осесимметричным аппаратам, в то время как многие важные задачи связаны с исследованиями обтекания пространственных компоновок.
2. Распределение концентраций химических компонентов приводится вблизи критической линии, хотя часто такие распределения важны в других частях потока.

3. Отсутствует описание метода численного решения уравнений химической кинетики в околоравновесных областях.

ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева». Отзыв подписан: начальник сектора ПАО «РКК «Энергия», кандидат физико-математических наук Крылов Андрей Николаевич, и заверен: ученый секретарь ПАО «РКК «Энергия», доктор физико-математических наук Хатунцева О.Н. Отзыв положительный, в отзыве представлены замечания:

1. Данные экспериментальных исследований, подобранные автором для валидации полученных результатов численного моделирования, затрагивают широкий диапазон скоростных режимов, выходящих за рамки исследований высокотемпературных течений с сильными ударными волнами.
2. Из текста автореферата не ясно, какие вычислительные и временные ресурсы необходимы для решения поставленных задач и в чем преимущество программного кода автора по сравнению с аналогами отечественными и зарубежными.

АО «Государственный научный центр Российской Федерации «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша». Отзыв подписан: заместитель генерального директора, начальник отделения АО ГНЦ «Исследовательский центр им. М.В. Келдыша», доктор технических наук Миронов Вадим Всеволодович, начальник сектора АО ГНЦ «Исследовательский центр им. М.В. Келдыша», кандидат технических наук Рощин Антон Сергеевич, и заверен: ученый секретарь АО ГНЦ «Исследовательский центр им. М.В. Келдыша», доктор военных наук Смирнов Ю.Л. Отзыв положительный, в отзыве представлены замечания:

1. В автореферате не содержится информации о выбранной модели химической кинетики и выбранного способа борьбы с неустойчивостью сильных ударных волн.
2. В автореферате при описании результатов численного моделирования различных задач не приводится информация об используемых вычислительных ресурсах и вычислительной сложности задач.
3. По приведенным полям распределения физических величин невозможно однозначно определить их значения, так как одному и тому же оттенку соответствуют различные значения.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)». Отзыв подписан: заведующий кафедрой «Высшая математика» МГТУ им. Н.Э. Баумана, доктор технических наук, профессор Сидняев Николай Иванович, и утвержден: проректор по экономике и инновациям МГТУ им. Н.Э. Баумана Старожук Евгений Андреевич. Отзыв положительный, в отзыве представлены замечания:

1. Краткость изложения в автореферате использованной математической модели и численного алгоритма.
2. Не приведены в автореферате сведения о вычислительных затратах на решение рассмотренных задач и характеристики использованной вычислительной техники, не указано, использовались ли параллельные технологии вычислений.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в отрасли наук, к которой относится диссертационная работа Харченко Николая Анатольевича, что подтверждается наличием у них многочисленных публикаций по теме диссертации в рецензируемых изданиях за последние 5 лет.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных лично соискателем исследований:

- *реализован* численный метод повышенного порядка аппроксимации по пространству для решения систем уравнений газовой динамики и химической кинетики на неструктурированных сетках в *разработанном* компьютерном коде ГРАТ.
- *предложен* метод, позволяющий устранить численную неустойчивость сильных ударных волн при гиперзвуковом обтекании затупленных тел, *проведены* исследования влияния нерегулярности расчётной сетки на проявление численной неустойчивости.
- *проведена* адаптация модели аналитического представления термодинамических функций равновесного воздуха для учёта физико – химических процессов в высокотемпературном воздухе при численном решении задач гиперзвукового обтекания высокоскоростных летательных аппаратов.
- *представлены* результаты численного моделирования высокоскоростного обтекания тел с помощью разработанного компьютерного кода ГРАТ, *проведено* сопоставление результатов численного моделирования аэродинамических и тепловых характеристик с экспериментальными и расчетными данными.
- *проведен* сравнительный анализ реализованных математических моделей для учёта физико – химических процессов в высокотемпературном воздухе.
- *получены* распределения массовых концентраций частично ионизированного воздуха и плотности полного теплового потока при вхождении в атмосферу спускаемого аппарата на гиперзвуковой скорости.

Практическая значимость работы: заключается в возможности использования разработанного компьютерного кода ГРАТ при расчёте аэротермодинамических характеристик высокоскоростных летательных аппаратов сложных геометрических форм для оценки и анализа аэродинамических и тепловых нагрузок сверхзвуковых и гиперзвуковых летательных аппаратов.

Достоверность результатов подтверждается проведением верификации и валидации результатов численного моделирования: соответствия точным аналитическим решениям, сравнением с расчётами других авторов и сопоставлением с экспериментальными данными.

Личный вклад: результаты диссертационной работы получены автором лично.

Диссертационная работа Харченко Н.А. полностью удовлетворяет пунктам 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 года «О порядке присуждения ученых степеней», представляет законченную научно-квалификационную работу, в которой проведены автором исследования актуальных задач численного моделирования высокоскоростных течений на основе реализованной физико-математической модели в разработанном компьютерном коде ГРАТ.

На заседании 24 декабря 2021 года протокол № 8 диссертационный совет принял решение присудить Харченко Николаю Анатольевичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 9 докторов наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы», участвовавших в заседании; из 21

человека, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного
совета Д 212.125.14,
доктор физико-математических наук,
профессор

Красильников
Павел Сергеевич

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.125.14,
доктор физико-математических наук

Гидаспов Владимир
Юрьевич

24 декабря 2021 г.

