

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д212.125.08

Соискатель: Тушканов Алексей Сергеевич

Тема диссертации: Термически и химически неравновесные процессы в факеле маршевого двигателя твердого топлива

Специальность: 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:

На заседании 25 декабря 2019 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и принял решение присудить Тушканову Алексею Сергеевичу 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., Козлов А.А., Кочетков Ю.М., Краев В.М., Лесневский Л.Н., Марчуков Е.Ю., Молчанов А.М., Мякочин А.С., Надирадзе А.Б., Назаренко И.П., Ненарокомов А.В., Никитин П.В., Попов Г.А., Силуянова М.В., Тазетдинов Р.Г., Тимушев С.Ф., Хартов С.А., Чванов В.К.

Ученый секретарь диссертационного совета

Д212.125.08, д.т.н., профессор

Ю.В. Зуев
И.О. начальника отдела УДС МАИ
Т.А. Аникина



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.08,
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 25.12.2019 г. № 33

О присуждении Тушканову Алексея Сергеевича, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Термически и химически неравновесные процессы в факеле маршевого двигателя твердого топлива» по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника» принята к защите 17.10.2019г., (протокол заседания № 21) диссертационным советом Д 212.125.08, 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, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4; приказ Минобрнауки РФ о создании диссертационного совета – № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Тушканов Алексей Сергеевич, 1991 года рождения, работает инженером-конструктором 2 категории в публичном акционерном обществе «Туполев» ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация».

В 2015 году соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)». В 2019 г. 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 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)», кафедра «Авиационно-космическая теплотехника», доцент.

Официальные оппоненты:

Мартыненко Сергей Иванович, доктор физико-математических наук, федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова», отдел «Специальные авиационные двигатели и химмотология», научный сотрудник;

Власенко Владимир Викторович, доктор физико-математических наук, доцент, ФГУП «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского», лаборатория физического и численного моделирования течений с горением в двигателях перспективных летательных аппаратов, зам. начальника лаборатории

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Акционерное общество «Военно-промышленная корпорация «Научно-производственное объединение машиностроения», г. Реутов, в своем положительном отзыве, подписанном Прохорчуком Юрием Алексеевичем, кандидатом физико-математических наук, заместителем начальника ЦКБМ, начальником отделения, Решем Георгием Фридриховичем, кандидатом технических наук, первым

заместителем начальника отделения, Горским Валерием Владимировичем, доктором технических наук, профессором, главным научным сотрудником, Точиловым Леонидом Сергеевичем, кандидатом физико-математических наук, ученым секретарем НТС и утвержденном Дергачевым Александром Анатольевичем, доктором технических наук, первым заместителем генерального директора, заместителем генерального конструктора, указала, что практическая значимость диссертации заключается в возможности использования её результатов в широком классе систем, основанных на получении энергии с использованием физико-химических методов. Результаты диссертации могут быть внедрены на предприятиях: ГНЦ РФ ФГУП «Исследовательский Центр им. М.В. Келдыша», АО «Корпорация «МИТ», ПАО «НПО «Искра», ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» и т.д. Диссертация Тушканова Алексея Сергеевича является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, в которой решена важная научно-техническая задача, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 - «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Соискатель имеет 3 опубликованные работы (все по теме диссертации) общим объемом 0,51 п.л., из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 2 работы. Из 3 печатных работ: 2 – статьи в научных журналах, 1 – тезисы доклада на конференции. Все работы написаны автором в соавторстве.

Эти публикации посвящены моделированию и исследованию термически и химически неравновесных процессов в факеле маршевого двигателя твёрдого топлива. В них, в частности, приводятся результаты расчетов излучения от неизотермической струи ракетного двигателя с

использованием метода k-распределения и результаты расчета химически реагирующей струи с учетом влияния турбулентности на скорости химических реакций.

Вклад соискателя в публикациях состоит в расчете термической и химической неравновесности, а также в расчете и моделировании химически активных турбулентных струй.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах.

Публикации соискателя по теме диссертации:

1. Молчанов А. М., Тушканов А. С. Расчет излучения от факела ракетного двигателя с использованием метода k-распределения // Тепловые процессы в технике. 2017. Т.10, №9. С. 392–396.

2. Молчанов А.М., Янышев Д.С., Тушканов А.С. Влияние турбулентности на скорости химических реакций // Тепловые процессы в технике. 2019. Т.11, №2. С. 61–68.

3. Молчанов А.М., Янышев Д.С., Тушканов А.С. Влияние турбулентности на скорости химических реакций в высокоскоростных потоках // Видеосеминар по аэромеханике ЦАГИ-ИТПМ СО РАН-СПБПУ-НИИМ МГУ-ОИВТ РАН, 05.09.2017 URL: <http://www.tsagi.ru/pressroom/events/seminars/videoseminar-aeromekh/05.09.2017/> (дата обращения 04.10.2019).

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

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

1. Представляется недостаточно обоснованным на стр. 11 автореферата допущение о независимости функций плотностей вероятностей для температуры и массовых долей химических компонентов при расчете осредненных скоростей реакций. На этом допущении основан учет влияния турбулентности на скорости химических реакций, поэтому требуется более строгое его обоснование. Интуитивно следует ожидать обратного, т.е. что

скорость, давление, температура и концентрации веществ при горении будут взаимосвязаны и оказывать сильное взаимное влияние друг на друга.

2. В работе уделено недостаточно внимания сравнению результатов расчетов при использовании различных способов учета влияния турбулентных пульсаций на горение.

3. В настоящее время моделирование горения является одной из основных задач вычислительной механики сплошных сред. Поэтому в списке использованной литературы хотелось бы видеть больше ссылок на работы последних лет. Кроме того автором разработаны оригинальные модели, создан комплекс программ и получены интересные численные результаты, которые, к сожалению, недостаточно полно опубликованы.

4. Текст изобилует неточностями и жаргонными выражениями. Например, на стр. 11 автореферата сказано: «... используется подход, основанный на функции распределения плотности вероятностей (ФРПВ)», далее следует ссылка на (18). В литературе по моделированию турбулентных течений упоминают, что данный подход основан на многомерной функции плотности вероятности (ФПВ), а (18) есть не что иное как среднее значение функции. Если автор вкладывает особый смысл в (18), следует подчеркнуть отличие от классического определения ФПВ. Следует избегать выражений «ламинарная химия» и «турбулентная химия», а так же выражений «результаты расчета с использованием упрощенной и полной химии», когда речь идет о режиме течения рабочей среды и используемом редуцированном или детальном механизме горения топлива.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Власенко В.В., доктора физико-математических наук, доцента содержит замечания:

1. Недостатком диссертации является отсутствие описания постановки расчетов: используемого численного метода, численных граничных условий и расчетной сетки. Все эти детали могут существенно влиять на результаты расчетов. Это влияние исчезает лишь при сходимости численного решения по шагу сетки. Но данных по такой сходимости в работе нет.

2. Общим недостатком используемого метода ФПВ является то, что в нем используется предписанный вид ФПВ для температуры и концентраций, который никак не учитывает физические особенности турбулентного горения – прежде всего тот факт, что пульсации температуры и концентрации определяются процессами, протекающими на уровне мельчайших турбулентных вихрей. Для сравнения: в методе микроламинарных пламен простой вид ФПВ предписывается только пульсациям инертной величины, а распределение температуры и концентраций получается из решения уравнений микроламинарного пламени. Но даже в методе микроламинарных пламен предписанная ФПВ дает плохие результаты, как показано в диссертации А.А. Ширяевой. Тем более ненадежным является использование предписанной ФПВ в методе, используемом автором.

3. Второй из выводов автора следует отнести лишь к тому набору задач, которые рассмотрены в диссертации. К сожалению, в диссертации нет ни одного расчета с экспериментальными данными, который продемонстрировал бы качество предложенного метода моделирования турбулентного горения. Рассмотрены только эксперименты, где роль этого эффекта мала. Тем не менее, эксперименты с сильным влиянием турбулентности на горение существуют, в том числе и в ситуациях с развитым горением - например, эксперимент Magre et al., *Combustion and Flame*. 1988. № 2 (71).

4. Учитывая, что существенные практические результаты работы, описанные в разделе 4, связаны с сильным проявлением термической неравновесности и многофазных эффектов, следовало бы добавить в раздел 3 валидационные тесты, доказывающие качество описания этих физических эффектов.

Отзыв на диссертацию ведущей организации АО «Военно-промышленная корпорация «НПО машиностроения» содержит замечания:

Первое замечание касается модели расчета турбулентности, которая по определению является полуэмпирической и содержащей целый ряд

произвольных констант, определённых на базе сопоставления расчетных и экспериментальных данных, число которых крайне невелико. В частности, имеются экспериментальные данные по обтеканию потоком воздуха затупленных конусов под различными углами атаки, полученные в достаточно широком интервале изменения чисел Рейнольдса. Анализ этих данных позволил бы автору более качественно оценить достоверность модели турбулентности, которую он использовал.

Второе замечание касается используемого автором подхода к расчету многокомпонентной диффузии с использованием некоторого модифицированного закона Фика. Утверждается, что в этом случае выполняется условие равенства нулю суммы всех диффузионных потоков массы компонент смеси. Это условие действительно выполняется только в двух случаях – либо при использовании классического закона Фика, либо в рамках уравнений Стефана-Максвелла. Если у автора другое мнение на этот счет, то в диссертации следовало поместить его доказательство.

Третье замечание – из текста диссертации следует, что автор впервые учел эффект сжимаемости газа в моделировании турбулентного теплообмена, однако, это не соответствует действительности.

Четвертое замечание касается того, что по нашему мнению автор недостаточно четко указал свой личный вклад в проведенные исследования.

Отзыв на автореферат диссертации сотрудников акционерного общества «Корпорация «Московский институт теплотехники» – Цветкова А.О., кандидата технических наук, начальника отдела и Шишкова А.А., доктора технических наук, главного научного сотрудника – содержит замечание:

1. Автор не рассматривает в своей работе модель LES при учете влияния турбулентности на горение.

Отзыв на автореферат диссертации сотрудников акционерного общества «Государственное машиностроительное конструкторское бюро

«Радуга имени А.Я. Березняка» – Сыздыкова Е.К., кандидата технических наук, первого заместителя генерального директора – заместителя по НИОКР, главного конструктора и Щеглова В.А., начальника отдела теории и конструкции двигательных установок – содержит замечания:

1. Не рассмотрено влияние геометрии сопла на параметры факела.
2. Не учитывались потери энергии потока на излучение.

Отзыв на автореферат диссертации акционерного общества «Машиностроительное конструкторское бюро «Искра» имени Ивана Ивановича Картукова», составленный Норенко А.Ю., кандидатом технических наук, доцентом, заместителем главного конструктора по НИР, Тихомировым М.А., кандидатом технических наук, начальником отдела инновационного развития, Беляковым А.Ю., специалистом по науке и утвержденный Сорокиным В.А., доктором технических наук, профессором, членом-корреспондентом РАН, генеральным директором, содержит следующие замечания:

1. В разделе автореферата «Актуальность темы диссертации» описаны эмпирические, полуэмпирические и аналитические методы решения рассматриваемой задачи. Указаны их преимущества, недостатки. Используемые численные методы описаны в отдельном пункте, и приведены их недостатки. Нет явно выраженного обоснования выбора именно численных методов.

2. В заключение автореферата указывается, что результаты расчета полей температуры и концентрации при использовании предложенной модели воздействия горения на турбулентный перенос энергии и химических компонентов могут существенно отличаться от расчетов с использованием постоянных турбулентных чисел Прандтля/Шмидта. Но не указаны значения данных расхождений.

Отзыв на автореферат диссертации федерального казенного предприятия «Научно-испытательный центр ракетно-космической

промышленности», составленный Галеевым А.Г., доктором технических наук, профессором, главным научным сотрудником, Рыжковым А.Т., начальником отдела и утвержденный Юрьевым И.А., кандидатом технических наук, доцентом, заместителем генерального директора по научной работе, содержит следующие замечания:

1. Допущения, принятые для ФРПВ не представляются в достаточной мере обоснованными и требуют дополнительного объяснения.

2. В автореферате не представлены уравнения для частиц в многофазных потоках, которые рассматривались в главе 2.

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

1. Неясна область применимости предложенной автором модели влияния турбулентных пульсаций на горение. Вызывает сомнение ее использование для химически равновесных течений.

Отзыв на автореферат диссертации сотрудников акционерного общества «Государственный ракетный центр имени академика В.П. Макеева» - Молчанова С.Ф., заместителя генерального конструктора и Мошкина И.Ю., кандидата технических наук, ведущего научного сотрудника отдела аэрогазодинамики и теплообмена - содержит следующие замечания:

1. Не рассмотрены альтернативные варианты поправок на сжимаемость для модели турбулентности SST.

2. Не проведена валидация используемой в разделе 3 модели на задачах моделирования высокотемпературных сверхзвуковых затопленных струй, истекающих в низкотемпературную область, являющихся наиболее актуальным расчетным случаем в заявленной предметной области.

3. Для повышения практической значимости работы следовало бы выполнить анализ влияния параметров факела двигателя на тепловое состояние летательного аппарата.

Отзыв на автореферат диссертации АО «Тураевское машиностроительное конструкторское бюро «Союз», подписанный Петренко В.М., кандидатом технических наук, ведущим научным сотрудником и утвержденный Шульгиным А.Ф., генеральным директором содержит замечания:

1. Не учтено влияние профиля сопла на параметры течения в факеле.
2. Допущение о статистической независимости концентраций и температур в автореферате не обоснованно.
3. Не рассмотрено влияние сжимаемости на параметры течения в других моделях турбулентности.

Отзыв на автореферат диссертации сотрудников Государственного научного центра Российской Федерации федерального государственного унитарного предприятия «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша» - Куранова М.Л., кандидата технических наук, начальника сектора отделения 2 и Ушакова Н.Н., кандидата технических наук, старшего научного сотрудника отделения 6 - содержит следующие замечания:

1. Из текста диссертации не совсем ясна постановка граничных условий на срезе сопел рассматриваемых двигателей. Для получения исходных данных на срезе РДТТ необходим неравновесный двухфазный расчет течения в сопле.

2. Не ясно был ли проведен обзор литературы по имеющимся методам расчета двухфазных течений в струях РДТТ при наличии температурного, скоростного и фазового неравновесия частиц и газа и ранее проведенных исследованиях движения частиц твердой фазы в факелах РДТТ, например работ Э.А. Ашратова, Ю.А. Пластинина, А.В. Родионова, Ф.С. Завелевича и др.

3. Не указан перечень химических элементов и химических реакций, учитываемых в методе, разработанном автором. Из автореферата не понятно, что представляет собой упрощенная и полная система химических реакций для двухфазных струй. Упомянутая система Коннэра не содержит хлорсодержащих компонентов, присутствующих, как правило, в двухфазных струях, оказывающих влияние на процесс срыва догорания и необходимых при учете воздействия струй на озоновый слой атмосферы.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в отрасли науки, к которой относится диссертационная работа Тушканова А.С., что подтверждается их научными публикациями в данной области.

Выбор Мартыненко С.И., доктора физико-математических наук, научного сотрудника отдела «Специальные авиационные двигатели и химмотология» в качестве официального оппонента обосновывается его широкой компетентностью в вопросах численного моделирования процессов газовой динамики и теплообмена, построении расчетных 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.

Выбор Власенко В.В., доктора физико-математических наук, доцента, заместителя начальника лаборатории физического и численного моделирования течений с горением в двигателях перспективных летательных аппаратов обосновывается его большим опытом в области моделирования высокоскоростных течений с горением, что подтверждается многочисленными публикациями в рецензируемых журналах и выступлениях на международных конференциях. Власенко В.В. выполнил полный цикл исследований импульсного детонационного двигателя схемы И.С. Симонова на основе моделирования нестационарного рабочего процесса во всем тракте

двигателя с учетом его внешнего обтекания, проводил исследования течений в высокоскоростных камерах сгорания. Власенко В.В. является автором численного метода для решения уравнений Рейнольдса, реализованного в пакете прикладных программ EWT-ЦАГИ, и автором технологии повышения эффективности численного моделирования нестационарных турбулентных течений вязкого газа с горением. Участник ряда международных проектов.

Ведущая организация выбрана в соответствии с её высоким уровнем достижений в области разработки высокоскоростных летательных аппаратов с твердотопливными двигателями. АО «Военно-промышленная корпорация «НПО машиностроения» проводит фундаментальные и прикладные исследования, а также опытно-конструкторские разработки по следующим направлениям: проектирование ракетных и ракетно-космических; теоретические и экспериментальные исследования в области аэродинамики, газовой динамики, теплообмена и тепловой защиты летательных аппаратов; тепловые испытания корпусов летательных аппаратов; организация и проведение лётных испытаний, экологическое обеспечение пусков, а также по ряду других направлений. Специалисты ведущей организации, в том числе составившие отзыв на диссертацию, обладают опытом изучения процессов, протекающих в высокоскоростных, химически активных, турбулентных струях, что подтверждается их публикациями в ведущих научных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработана математическая модель высокоскоростных, химически активных турбулентных струй, позволяющая повысить точность результатов моделирования процессов в факеле маршевого двигателя твердого топлива;
- предложен и апробирован метод учета взаимного влияния турбулентности и горения;

- доказана необходимость учета влияния турбулентности на горение, при решении задач воспламенения горючего и срыва горения в факеле ракетного двигателя;

- введены уточняющие поправки в разработанные ранее математические модели.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- доказано, что учет эффектов турбулентности в математической модели процессов воспламенения и срыва горения приводит к повышению точности получаемых результатов;

- применительно к анализируемой в диссертационной работе проблеме результативно использован комплекс классических численных методов;

- изложены и реализованы подходы, улучшающие описание комплекса процессов в факелах ракетных двигателей, детально обоснованы полученные результаты численного моделирования;

- проведена разработка существующей математической модели, обеспечившая улучшение получаемых результатов численного моделирования.

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

- определены границы применимости разработанной математической модели, при проектировании перспективных летательных аппаратов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- корректное использование фундаментальных уравнений термогазодинамики и тепломассообмена в предложенной математической модели;

- верификацию предложенной математической модели, на большом количестве экспериментальных данных.

Личный вклад соискателя состоит в:

- разработке математической модели процессов термогазодинамики и тепломассообмена, протекающих в высокоскоростных, химически активных, турбулентных струях, с учетом: химической и термической неравновесности,

взаимного влияния турбулентности и горения, высокоскоростной сжимаемости, эффективного численного метода определения поправок скоростей химических реакций, обусловленных влиянием турбулентности;

- проведении верификации разработанной математической модели путём сравнения с экспериментальными данными других авторов результатов расчёта процессов тепломассообмена в высокоскоростной турбулентной струе с термическими и химическими неравновесными процессами.

На заседании 25 декабря 2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Тушканову А.С. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 7 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 22, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор



 Равикович Юрий Александрович

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор



Зуев Юрий Владимирович

25 декабря 2019 г.

И.о.начальника отдела УДС МАИ
Т.А. Аникина 