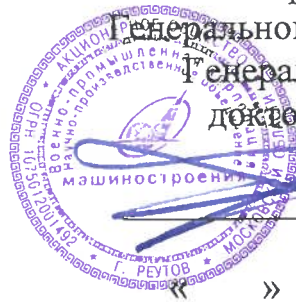




АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ВОЕННО-ПРОМЫШЛЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ
«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ МАШИНОСТРОЕНИЯ»

(АО «ВПК «НПО машиностроения»)
ул. Гагарина, д. 33, г. Реутов, Московская область, 143966
телеграфный: Реутов Московской ВЕСНА (АТ346416)
Тел.: (495) 528-30-18 (канцелярия) Факс: (495) 302-20-01
E-mail: vpk@vpk.npomash.ru http://www.npomash.ru
ОКПО 07501739, ОГРН 1075012001492
ИНН/КПП 5012039795/504101001



Первый заместитель

Генерального директора, заместитель
Генерального конструктора,
доктор технических наук

А.А. Дергачёв

» _____ 2019 г.

№ _____

на № _____ от _____

Отзыв ведущей организации

АО «ВПК «НПО машиностроения» на диссертацию Тушканова Алексея Сергеевича на тему «Термически и химически неравновесные процессы в факеле маршевого двигателя твёрдого топлива», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Экспериментально-теоретические исследования и численное моделирование теплофизических процессов применительно к системам преобразования энергии и, в частности, ракетным двигателям твёрдого топлива (РДТТ) являются основным инструментом их совершенствования. Сложный характер химического состава факела РДТТ, наличие в нём твёрдых и жидких частиц, необходимость учёта неравновесности процессов при полёте ЛА на больших высотах, ламинарно-турбулентный режим течения газа в струе продуктов сгорания приводят к необходимости решения серьёзных проблем при проектировании РДТТ. В связи с этим тему диссертации А.С. Тушканова следует признать **актуальной**.

Исследования диссертанта отличаются **научной новизной**, среди которых наиболее значимыми, по нашему мнению, являются: метод расчёта высокоскоростных струй с неравновесными химическими и термическими реакциями, решение дополнительных уравнений переноса дисперсий концентраций и энтальпии для учёта влияния горения на турбулентность, предложенная модификация SST модели турбулентности с учётом влияния высокоскоростной сжимаемости.

Достоверность научных положений подтверждена использованием фундаментальных законов механики сплошной среды, известных методов численного моделирования, а также сравнением полученных результатов с экспериментальными данными других исследователей.

Практическая значимость диссертации заключается в возможности использования её результатов в широком классе систем, основанных на получении энергии с использованием физико-химических методов.

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ

Вх. № _____
10 12 2019

Диссертация состоит из введения и четырёх разделов.

Во введении приводится общая характеристика работы, формулируется цель и задачи исследований, что, в свою очередь, потребовало:

- численного моделирования процессов тепло- и массообмена в высокоскоростных химически активных турбулентных струях;
- учёта влияния турбулентных пульсаций на скорости химических реакций;
- учёта влияния химических реакций на процессы турбулентного переноса массы и энергии;
- написания программы на высокоуровневом языке программирования.

К числу основных элементов **научной новизны** диссертации автор относит:

- разработку и реализацию метода расчёта высокоскоростных струй с неравновесными химическими и термическими реакциями;
- реализацию метода расчёта, учитывающего влияние горения на турбулентность путём решения дополнительных уравнений переноса дисперсий концентраций и энтальпии;
- модификацию SST модели турбулентности с учётом влияния высокоскоростной сжимаемости газа;
- установление областей течения газа, наиболее важных по отношению к влиянию турбулентности;
- результаты анализа, связанного с изучением характера движения частиц твёрдой фазы в факелах РДТТ.

Первый раздел диссертации посвящён обзору литературных источников по тематике проведённых исследований, а именно:

- по развитию моделей, учитывающих влияние турбулентности на скорости химических реакций;
- по моделям, используемым для расчёта процесса горения топлива;
- по моделям, учитывающим взаимное влияние турбулентных пульсаций и протекания химических реакций;
- по влиянию сжимаемости и переменности чисел Прандтля и Шмидта на турбулентную струю.

Второй раздел диссертации посвящён разработке математической модели, используемой для описания высокоскоростных химически неравновесных турбулентных течений, на основе дифференциальных уравнений сохранения, уравнений состояния, уравнений, описывающих термическую неравновесность течения вязкого газа и уравнений химической кинетики. В модели учитываются: физические эффекты турбулентности в высокоскоростных потоках; тепловые и диффузионные потоки; переносные свойства многокомпонентной газовой смеси; турбулентные потоки скалярных величин в химически реагирующих течениях; влияние турбулентности на скорости химических реакций; многофазность течения газа.

Оценивая материалы, изложенные в этой главе, необходимо отметить глубину формулировки задачи, предложенной автором, которая полностью соответствует современному уровню развития науки в этой области знаний. Вме-

сте с тем, вывод о корректности внесённых автором изменений в общепринятую формулировку может быть сделан только на базе сопоставления расчётных и экспериментальных данных.

В **третьем разделе** диссертации представлены результаты верификации математической модели. Приведённые результаты исследований убедительно свидетельствуют об удовлетворительном качестве воспроизведения картины течения газа, зафиксированной в процессе стендовых экспериментов. Соответствующие расчётные данные, полученные в рамках разработанной автором методики, свидетельствуют об обоснованности её использования в процессе проектирования РДТТ. Показано, что при использовании предложенной автором математической модели, в которой учитывается переменность турбулентного числа Прандтля, повышается качество согласования расчётных и экспериментальных данных.

В **четвёртом разделе** диссертации приводятся результаты вычислительных экспериментов на основе разработанной математической модели и программного комплекса, которые подтверждают обоснованность предложенных автором теоретических положений. На примере ЖРД проведены параметрические исследования течения струй, позволившие выявить условия, при которых необходимо учитывать детальную кинетику химических реакций. Аналогичные результаты параметрического исследования приведены для РДТТ, в струе которого содержатся твердые частицы различного размера. В результате проведённого анализа установлена подробная картина изменения всех основных параметров течения струи.

В заключении сформулированы выводы по диссертации.

Результаты диссертации **апробированы** на видеосеминаре и нашли отражение в двух работах в рецензируемых журналах.

Однако диссертация А.С. Тушканова не лишена определённых **недостатков**.

Первое замечание касается модели расчёта турбулентности, которая по определению является полуэмпирической и содержащей целый ряд произвольных констант, определённых на базе сопоставления расчётных 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 расчёту 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 счёт, то в диссертации следовало поместить его доказательство.

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

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

Несмотря на указанные недостатки, 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».

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.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании секции Научно-технического совета АО «ВПК «НПО машиностроения» (протокол от 05.12.2019 № 8/2019).

Заместитель начальника ЦКБМ,
начальник отделения,
кандидат физико-математических наук

Прохорчук Юрий Алексеевич

Первый заместитель начальника отделения,
кандидат технических наук

Реш Георгий Фридрихович

Главный научный сотрудник,
доктор технических наук, профессор

Горский Валерий Владимирович

Учёный секретарь НТС,
кандидат физико-математических наук

Точилев Леонид Сергеевич