

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.073.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФГУ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЦЕНТР «ИНФОРМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ» РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 24 января 2019 г. № 1

О присуждении Ширяевой Анне Александровне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Моделирование высокоскоростных течений со смешанными режимами турбулентного горения на основе трехмерных уравнений Рейнольдса» по специальности 01.02.05 — «Механика жидкости, газа и плазмы» — принята к защите 22 ноября 2018 г. (протокол заседания № 11) диссертационным советом Д 002.073.03, созданным на базе ФГУ «Федеральный исследовательский центр «Информатика и Управление» Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН), находящегося по адресу: 119333, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44, к. 2. Диссертационный совет утвержден приказом Минобрнауки РФ № 784/нк от 24 июня 2016 г.

Соискатель – Ширяева Анна Александровна, 1986 года рождения, в 2009 г. окончила факультет аэромеханики и летательной техники Московского физико-технического института по специальности "Прикладные математика и физика", а в 2013 г. – очную аспирантуру ФГУП "ЦАГИ". С 2009 г. по настоящее время А.А. Ширяева работает в должности младшего научного сотрудника в отделе вычислительной аэродинамики Отделения аэродинамики силовых установок летательных аппаратов Федерального государственного унитарного предприятия "Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского" (ФГУП "ЦАГИ"). Диссертация выполнена в Отделении аэродинамики силовых установок ФГУП «ЦАГИ».

Научный руководитель рассматриваемой диссертации – доктор физико-математических наук по специальности 01.02.05 – "Механика жидкости, газа и

плазмы", заместитель начальника лаборатории "Исследования и разработки физических моделей и численных технологий описания режимов горения в двигателях летательных аппаратов" ФГУП "ЦАГИ" Власенко Владимир Викторович.

Официальные оппоненты:

- 1) Молчанов Александр Михайлович, д.т.н., профессор кафедры «Авиационно-космическая теплотехника», ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»;
- 2) Лебедев Александр Борисович, к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник, ФГУП «Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова» отделения «Неравновесные физико-химические процессы в газовых потоках и в элементах реактивных двигателей»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация, ФГБУН «Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича» Сибирского отделения Российской академии наук (ИТПМ СО РАН), в своем положительном заключении, подписанным директором ИТПМ СО РАН д.ф.-м.н., член-корр. РАН Шиплюком Александром Николаевичем и ведущим научным сотрудником лаборатории физики быстропротекающих процессов д.ф.-м.н. Зудовым Владимиром Николаевичем, указала, что диссертация Ширяевой Анны Александровны является оригинальной завершенной научно-квалификационной работой, в которой получены новые научные и практически значимые результаты исследований по турбулентному горению в высокоскоростных потоках, имеющие существенное значение для механики жидкости, газа и плазмы в части, касающейся фундаментальных проблем разработки методов управления процессами горения. Представленная диссертационная работа является законченным научным исследованием, представляющим значительный вклад в раздел аэромеханики, связанный с моделированием процессов турбулентного горения в дозвуковых и сверхзвуковых нестационарных потоках. Ведущая организация отмечает, что

выполненная работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям п. 9 действующего «Положения о присуждении ученых степеней» (утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842), а ее автор Ширяева А.А. достойна присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы». Отзыв на диссертацию обсужден на семинаре лаборатории физики быстропротекающих процессов 19 декабря 2018 г.

Соискатель имеет 27 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 7 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, из них 4 – в журналах, входящих в список ВАК, из них 2 – без соавторов. Наиболее значительные работы:

1. *Ширяева А.А.* Особенности численного метода и результаты тестирования программы ZEUS-S3pp для моделирования трехмерных течений с горением // Труды ЦАГИ. 2015. № 2735. С. 220–246. Описана разработанная автором программа для моделирования трехмерных течений вязкого газа с неравновесным горением, представлен лежащий в основе численный метод, детально описаны результаты тестирования программы.
2. *Shiryayeva A., Anisimov K.* Development and application of numerical technology for simulation of different combustion types in high-speed viscous gas turbulent flows // Proceedings of 6th European Conference for Aerospace Sciences (EUCASS). 2015. В этой работе предложен комбинированный метод для описания смешанных режимов горения, в котором для учета влияния турбулентности на горение применена модель микроламинарного пламени (flamelet).
3. *Ширяева А. А.* О стационарном состоянии в потоке реагирующей смеси газов // Химическая физика. 2010. Т. 29. №. 6. С. 21–30. В работе впервые описан эффект «динамического равновесия газовой смеси», предложен

способ его устранения и доказано, что при использовании этого способа единственным решением уравнений кинетики является подлинное термодинамическое равновесие.

4. *Ширяева А.А.* Применение модели реактора частичного перемешивания для учета взаимодействия турбулентности и горения на основе уравнений Рейнольдса // Ученые записки ЦАГИ. 2018. Т.48 №8. Представлен опыт применения моделей реактора частичного эксперимента к экспериментам Cheng, Magre и HEXAFLY-INT. Модель GPaSR впервые применена на практике. Описаны механизмы стабилизации горения. Делается вывод о роли взаимодействия турбулентности и горения в областях преимущественно сверхзвукового горения.
5. *Shiryayeva A., Sabelnikov V.* "Critical Analysis of Classical Turbulent Combustion Experiments on the Basis of RANS Simulations" // AIP Conference Proceedings. 2018. Т. 2027. №. 1. С. 030078. В работе дан критический анализ возможности применения известных экспериментальных данных по сверхзвуковым турбулентным течениям с горением для настройки моделей взаимодействия турбулентности и горения.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

На автореферат поступило 2 положительных отзыва:

1. от профессора кафедры «Гидроаэродинамика, горение и теплообмен» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого» д.т.н. Снегирёва Александра Юрьевича;

2. от ведущего научного сотрудника ФГБУН «Института автоматизации проектирования РАН», к.ф.-м.н. Семенова Ильи Витальевича.

В отзывах на автореферат отмечается, что диссертация А.А.Ширяевой удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842), а приведенные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что сотрудники ИТПМ СО РАН являются признанными специалистами в области турбулентного горения. Выбор официальных оппонентов обосновывается их высокой компетентностью в области численного моделирования турбулентности и турбулентного горения. Официальные оппоненты и сотрудники ведущей организации имеют публикации по теме диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1) разработан метод описания высокоскоростных течений со смешанными режимами турбулентного горения, ориентированный на исследования течений в камерах сгорания воздушно-реактивных двигателей на основе трехмерных уравнений Рейнольдса; 2) предложен комбинированный метод учета взаимодействия турбулентности с горением, позволяющий рассчитывать смешанные режимы турбулентного горения; 3) введено понятие “динамического равновесия” реагирующей смеси газов для обнаруженного в расчетах состояния, при котором источниковые члены обращаются в нуль, а суммарные скорости индивидуальных реакций не равны нулю; 4) доказано, что оно является нефизичным и предложен способ его устранения; 5) на основе решения ряда известных задач и тщательного сравнения полученных результатов с экспериментальными данными доказана перспективность нового метода для расчета высокоскоростных течений реагирующего газа.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

1) изложен вывод уравнений модели реактора частичного перемешивания на основе модельной системы уравнений; 2) доказана единственность физически корректного решения при использовании предложенного способа устранения нефизичного “динамического” равновесия; применительно к проблематике диссертации результативно использованы имеющиеся в открытой литературе экспериментальные данные по сверхзвуковому горению; 3) изучены и сопоставлены друг с другом различные варианты моделей микроламинарного пламени и реактора частичного перемешивания; 4) раскрыты несколько

физических механизмов стабилизации горения, указана их связь с влиянием взаимодействия турбулентности с горением на структуру пламени; 5) проведена модернизация численного метода решения нестационарных уравнений Рейнольдса для многокомпонентного неравновесно реагирующего газа; 6) проведена настройка констант моделей реактора частичного перемешивания для описания турбулентного горения.

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

1) разработаны физические модели и численные методы, которые могут быть применены для численного моделирования камер сгорания, для оценки интегральных характеристик воздушно-реактивных двигателей, а также для предварительного проектирования силовых установок летательных аппаратов и сопровождения их испытаний; 2) созданы расчетные модули *ZEUS-S3pp* и *zFlare* из пакета прикладных программ *EWT-ЦАГИ* (свидетельство о гос. регистрации №2008610227), в которых реализованы разработанные модели и методы; 3) определены границы области применимости метода назначенной функции плотности вероятности при описании течений в высокоскоростных камерах сгорания; 4) представлены практические рекомендации по использованию модификаций модели реактора частичного перемешивания, а также рекомендации по модификации модели кинетики для избежания нефизичного “динамического” равновесия.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что: 1) полученные в диссертации результаты численного моделирования согласуются с опубликованными экспериментальными данными и с расчетами других авторов; 2) использованы компьютерные программы, протестированные на большом наборе задач, охватывающих все рассматриваемые в диссертации физические эффекты; 3) использовано сопоставление расчетов на базе разных численных подходов и моделей; проверена сходимость численных решений по шагу расчетной сетки; 4) в диссертации дано строгое математическое доказательство теоремы о единственности стационарного состояния реагирующей смеси газов, совпадающего с термодинамически равновесным состоянием.

Личный вклад соискателя состоит в разработке всех новых элементов метода, проведении анализа экспериментальных данных и построении математических моделей экспериментов; выполнении всех расчетов и физическом анализе их результатов; проведении математического анализа проблемы “динамического” равновесия; разработке расчетного модуля *ZEUS-S3pp* и программной реализации разработанного метода в модуле *zFlare*.

На заседании 24 января 2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Ширяевой А.А. ученую степень кандидата физико-математических наук. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человека, из них 7 докторов наук по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы», участвовавших в заседании из 28 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 22, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

диссертационного совета Д 002.073.03

академик РАН,

д.ф.-м.н., профессор



Ю.Г. Евтушенко

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 002.073.03

д.ф.-м.н.

С.И. Безродных

«25» января 2019 г.