

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02),
созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения
науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)
от 27 апреля 2022 г. (протокол № 6)

Защита диссертации Мельниковой Ксении Сергеевны
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
«Горение ультра-бедных составов водородно-воздушных смесей на больших
пространственных масштабах»

Специальность
1.3.14 - теплофизика и теоретическая теплотехника

Москва – 2022

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета заседания диссертационного совета Д 002.110.02 (24.1.193.01), созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)

Протокол № 6 от 27 апреля 2022 г.

Диссертационный совет Д 002.110.02 (24.1.193.01) утвержден Приказом Министерства образования и науки РФ от 11.04.2012 г. № 105/нк от 11.04.2012 г. в составе 31 человека. На заседании присутствуют 22 человека, из них 8 докторов наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 11 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника. Дополнительно введены на разовую защиту 0 человек. Кворум имеется.

Председатель – зам.председателя диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02) д.ф.-м.н., профессор Андреев Н.Е.

Ученый секретарь – ученый секретарь диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02) к.ф.-м.н. Тимофеев А.В.

1	Петров О.Ф.	Академик, д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Отсутствует
2	Андреев Н.Е.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Присутствует
3	Храпак А.Г.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.14	Присутствует
4	Тимофеев А.В.	К.ф.-м.н.	1.3.9	Присутствует
5	Агранат М.Б.	Д.ф.-м.н., с.н.с.	1.3.14	Подключен
6	Амиров Р.Х.	Д.ф.-м.н., с.н.с.	1.3.9	Отсутствует
7	Баженова Т.В.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Отсутствует
8	Вараксин А.Ю.	Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор	1.3.14	Присутствует
9	Васильев М.М.	Д.ф.-м.н.	1.3.9	Присутствует
10	Васильев М.Н.	Д.т.н., профессор	1.3.14	Отсутствует
11	Василяк Л.М.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Подключен
12	Воробьев В.С.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Отсутствует
13	Гавриков А.В.	Д.ф.-м.н., доцент	1.3.9	Отсутствует
14	Голуб В.В.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.14	Присутствует
15	Грязнов В.К.	Д.ф.-м.н.	1.3.14	Подключен
16	Дьячков Л.Г.	Д.ф.-м.н.	1.3.9	Присутствует
17	Еремин А.В.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.14	Присутствует
18	Зейгарник Ю.А.	Д.т.н., с.н.с.	1.3.14	Подключен
19	Зеленер Б.Б.	Д.ф.-м.н.	1.3.9	Подключен
20	Иосилевский И.Л.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Подключен
21	Киверин А.Д.	Д.ф.-м.н.	1.3.14	Присутствует
22	Кириллин А.В.	Д.ф.-м.н.	1.3.14	Подключен
23	Лагарьков А.Н.	Академик, д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Отсутствует
24	Левашов П.Р.	К.ф.-м.н.	1.3.14	Присутствует
25	Ломоносов И.В.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.14	Отсутствует
26	Медин С.А.	Д.т.н., профессор	1.3.14	Отсутствует
27	Норман Г.Э.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Присутствует
28	Пикуз С.А.	К.ф.-м.н.	1.3.9	Присутствует
29	Савватимский А.И.	Д.т.н.	1.3.14	Подключен
30	Филиппов А.В.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.9	Присутствует
31	Яньков Г.Г.	Д.т.н., с.н.с.	1.3.14	Подключен

ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации младшего научного сотрудника лаборатории № 15.2 – Вычислительной физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) **Мельниковой Ксении Сергеевны** на тему «Горение ультра-бедных составов водородно-воздушных смесей на больших пространственных масштабах». Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, представлена впервые. Диссертация выполнена в лаборатории № 15.2 – Вычислительной физики Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2, jiht.ru).

Научный руководитель:

Киверин Алексей Дмитриевич – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией № 15.2 – Вычислительной физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук, г. Москва.

Официальные оппоненты:

Якуш Сергей Евгеньевич – гражданин РФ, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией «Термогазодинамики и горения», Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН, 119526, Россия, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 101, к.1).

Фурсенко Роман Викторович – гражданин РФ, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией «Физико-математического моделирования процессов горения» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (ИТПМ СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Институтская, 4/1).

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (ИБРАЭ РАН, 115191, Россия, г. Москва, ул. Большая Тульская, д. 52).

На заседании присутствуют официальные оппоненты д.ф.-м.н., зав. лаб. Якуш С.Е. и д.ф.-м.н., зав. лаб. Фурсенко Р.В. (удаленное подключение), научный руководитель Мельниковой К.С. д.ф.-м.н., зав. лаб. Киверин А.Д.

СТЕНОГРАММА

Председатель

Добрый день, уважаемые члены совета нашего совета и присутствующие. Мы начинаем реализовать нашу повестку - это защита диссертации Мельниковой Ксении Сергеевны дадим слово ученому секретарю.

Алексей Владимирович, пожалуйста, ознакомьте нас с документами, чтобы мы были уверены в том, что у нас всё в порядке.

Ученый секретарь

Дорогие коллеги, в наш диссертационный совет обратилась Мельникова Ксения Сергеевна младший научный сотрудник лаборатории 15.2 Вычислительной физики ОИВТ РАН с просьбой принять к защите диссертацию «Горение ультра-бедных составов водородно-воздушных смесей на больших пространственных масштабах». Ксения Сергеевна 1992 года рождения в 2015 году окончила МГТУ им. Баумана, в 2019 году окончила очную аспирантуру МГТУ им. Баумана. Для предварительного рассмотрения была избрана комиссия из диссертационного совета в составе докторов наук: профессора, члена корреспондента Вараксина Алексея Юрьевича, доктора наук, профессора Виктора Владимировича Голуба, доктора наук, профессора Еремина Александра Викторовича. Комиссия дала заключение о соответствии работы тематике диссертационного совета и о возможности защиты на нашем диссертационном совете. В аттестационном деле имеются все необходимые документы. С вашего позволения зачитывать все документы не буду, если будут вопросы, готов ответить.

Председатель

Есть вопросы? Нет вопросов. спасибо. Ксения Сергеевна, пожалуйста, 20 минут.

Мельникова Ксения Сергеевна

Выступает с докладом по диссертационной работе (выступление не стенографируется, доклад Мельниковой К.С. прилагается).

Председатель

Спасибо, Ксения Сергеевна ознакомление с вашей работой. Мы переходим к вопросам. У кого есть вопросы, пожалуйста.

Вараксин А.Ю.

Ксения Сергеевна, очень положительное впечатление оставила эта карта режимов, где вы варьировали размер, потому что размер очага - это безусловно важнейший параметр. Вопрос сводится к тому, что числа Рейнольдса и Фруда содержат, у вас так называемый эквивалентный диаметр. Казалось бы, распространяется структура и ее форма далека от сферической. Поясните, как вы его определяли ведь от этого зависит величина всех ваших чисел.

Мельникова К.С.

Спасибо за вопрос. Мы рассчитывали эквивалентную область продуктов горения, как область повышенной температуры, то есть суммировали области продуктов, где

температура была больше 1100К. Получали некоторую площадь и считали какой диаметр имел бы круг с такой площадью, это и был эквивалентный диаметр.

Председатель

Спасибо. Еще вопросы.

Янков Г.Г.

Ксения Сергеевна, спасибо за интересное сообщение. Если позволите несколько вопросов. Первый вопрос каким программным обеспечением вы пользовались для моделирования и второй, откройте, пожалуйста 10 слайд.

Мельникова К.С.

Сейчас секундочку, зависло.

Янков Г.Г.

Меня плохо слышно?

Мельникова К.С.

Нет, зависла презентация. Открыла.

Янков Г.Г.

С помощью каких пакетов вы считали, то.

Мельникова К.С.

Мы использовали для всех задач в диссертации наш собственный пакет, который разработан в нашей лаборатории. Поэтому, мы все делали на своих программных кодах.

Янков Г.Г.

Понятно, спасибо большое. И у меня вопрос всё-таки расчетная область показана тут сереньким цветом. Вот скажите, пожалуйста, боковые стенки вы сказали, что это открытые стенки, что за граничные условия на них стоят. Потому что там воздух подсасываться должен где-то, а где-то выходить

Мельникова К.С.

Нет. У нас были проскальзывающие граничные условиях, не попадало ничего из вне внутрь.

Янков Г.Г.

Не на всех же, это на вертикальных стенках.

Мельникова К.С.

Да, вот здесь. Нижняя стенка у нас была изотермическая.

Янков Г.Г.

Я понял, верхняя граница была по сути дела проницаемой.

Мельникова К.С.

Нет, у нас не было проницаемых границ. А подождите, у нас были открытые границы.

Янков Г.Г.

Они проницаемые или непроницаемые для газа?

Мельникова К.С.

Я бы сказала, что они проницаемые, так как такие структуры очагов можно наблюдать только при наличии открытых границ.

Янков Г.Г.

Мне тоже так кажется.

Председатель

У вас написано в неограниченном пространстве.

Мельникова К.С.

Да, у нас же наблюдалось восходящее течение. А как бы оно наблюдалось, если бы там была закрытая граница.

Янков Г.Г.

Хорошо, спасибо.

Председатель

Еще вопросы, пожалуйста. Нет вопросов. Ксения Сергеевна, может тогда вы объясните, я немного запутался у вас есть 2Д расчеты, есть цилиндрически-симметричные, которые на мой взгляд тоже двумерные, судя по всему.

Мельникова К.С.

Да.

Председатель

И потом вы сравнивали с пузырьками в жидкости, но я нигде не увидел сравнения расчетов для пузырьков и для пламени, потому что вы потом использовали теорию пузырьков, как отражающую то, что происходит в пламени. А насколько это хорошо, я не особо понял.

Мельникова К.С.

В диссертации не представлены расчеты осесимметричные, я их представила только в презентации. В диссертации нет этой информации. По поводу сравнения неактивных газовых пузырьков и очагов горения. Это вспомогательная задача была. При решении задачи с неактивными газовыми пузырьками у нас были отключены эффекты, связанные с диффузией и химической кинетикой. То есть мы смотрели, как влияют газодинамические потоки на структуры наших пузырьков. Для описания мы использовали теорию всплывающих пузырей, это просто аналогия. Мы между собой их не сравнивали.

Председатель

Что вас убеждает, что это хорошая аналогия?

Мельникова К.С.

Она позволила нам количественно сравнить результаты математического моделирования и эксперимента. Также стоит отметить, что газодинамические потоки, наблюдаемые при всплытии очага горения ультра-бедной водородно-воздушной смеси очень схожи с газодинамическими потоками, наблюдаемыми при всплытии газового пузырька в жидкости.

Председатель

Ясно, потому что она проще. Спасибо, еще есть вопросы? Да, Павел Ремирович.

Левашов П.Р.

Скажите, пожалуйста, у вас фронт пламени достаточно узкий, или область горения, тут про это совсем ничего не было сказано.

Мельникова К.С.

В бедных смесях фронт пламени довольно широкий. Очагом горения мы называем всю структуру. Я говорила, что наличие газодинамических течений приводит к разрыву очага горения, ну соответственно и фронта пламени.

Левашов П.Р.

Вы можете на структуре показать, где горит?

Мельникова К.С.

Да, наибольшее значение концентрации продуктов у нас отмечено желтым цветом (*Мельникова К. С. демонстрирует слайд с соответствующими графиками*). Соответственно, черным отмечено, где не горит.

Председатель

Спасибо, еще вопросы есть? Если нет, то Алексей Дмитриевич. Вы должны нам сказать про соискателя, а не о научном содержании.

Киверин А. Д.

Хорошо. О работе я не буду говорить. Мы всё слышали и у каждого есть свое мнение, как её оценить. О соискателе готов говорить только положительные слова. Мы с Ксенией Сергеевной знакомы больше 10 лет, еще с тех пор, как я у нее вел семинары по общей физике. Потом она пришла работать к нам в лабораторию. В общем-то она является последним прямым учеником Михаила Федоровича Иванова и продолжает активно работать в направлении, которое мы начали разрабатывать незадолго до ее прихода к нам в лабораторию. Она проявила себя, как ответственный и работоспособный сотрудник без которого сейчас наша лаборатория уже, наверное, не обходится. И решает довольно выделенный сектор задач, который, я надеюсь, еще будет развиваться. Я считаю, что тот вклад, который она сделала полезен, это было представлено на слайдах и в диссертации. Поэтому я прошу поддержать её кандидатуру.

Председатель

Спасибо, спасибо Алексей Дмитриевич. Мы переходим к ознакомлению с отзывами. Алексей Владимирович нас сейчас ознакомит со всем, что у нас есть.

Ученый секретарь

Дорогие коллеги, в деле имеется отзыв ведущей организации. Институт проблем безопасного развития атомной энергетики им. Лаврентьева. Составлен сотрудниками отделения анализа безопасности ядерных энергетических установок. Заведующий отделением Киселев Аркадий Евгеньевич, и зам. заведующего Семенов Владимир Николаевич. Утвердил отзыв директор, доктор физ.-мат. наук Леонид Владимирович Матвеев. В отзыве подробно описаны актуальность темы работы, оценка содержания диссертации, её завершенность и научная новизна, обоснованность научных результатов, значимость и апробация работы, а также наличие публикаций и личный вклад автора. Если позволите я перейду к замечаниям, замечания есть. Первое замечание: все расчёты выполнены в двумерной плоскости (x-y). Понятно, что трёхмерные расчёты слишком затратны, но в данном случае осесимметричные 2D расчёты (r-z) были бы более адекватны, тем более, что без гравитации стационарное диффузионное горение теоретически возможно только в сферической геометрии, но не в цилиндрической. Второе замечание: термодиффузия в модели не учитывается из-за малости коэффициента термодиффузии, который пропорционален малой мольной доле водорода. Но по крайней мере в бинарной смеси термодиффузия влияет на распределение компонента, доля которого мала. Третье замечание: на стр. 22 отсутствует ссылка на источник, откуда взято выражение для коэффициентов переноса в многокомпонентной газовой смеси. Четвертое замечание: в тексте используется на мой взгляд неудачный термин «термодиффузионная неустойчивость». Он создаёт впечатление, что причина неустойчивости есть явление термодиффузии, хотя это не так. Лучше использовать термин «диффузионно-тепловая неустойчивость». В заключении отмечено, что работа выполнена на высоком научном уровне, изложена четко и понятно, хорошо оформлена. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Содержание диссертации соответствует паспорту диссертации 1.3.14 на основании изложенного считаем, что диссертационная работа Мельниковой Ксении Сергеевны представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая по научному уровню, новизне, актуальности и практической значимости соответствует требованиям к кандидатским диссертациям, установленными положениями в соответствии с постановлениями Правительства.

Также поступило 4 отзыва на автореферат.

(Первый отзыв) Первый отзыв из Института теплофизики имени Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (*ИТ СО РАН*). Подписал зам. директора по научной работе доктор физ.-мат. наук Шарыпов Олег Владимирович. Отзыв положительный, без замечаний.

(Второй отзыв) Второй отзыв на автореферат поступил из института тепло- и массообмена им. Лыкова, Белоруссия (*Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси*). От заведующего лабораторией, кандидата физ.-мат. наук Кривошеева Павла Николаевича. Отзыв положительный, с замечаниями: в тексте автореферата не указано какая модель турбулентности использовалась автором, и использовалась ли вообще. Возможно ответ на указанный вопрос содержится в тексте диссертации. Второе: основные результаты диссертации, пункт 2. На мой взгляд не совсем корректно писать про способ подавления образования вторичных очагов пламени и снижения скорости всплытия очага горения, с помощью теплоотвода к стенкам. Вряд ли тут речь может идти о способе как таковом.

(Третий отзыв) Третий отзыв на автореферат поступил из Федерального исследовательского центра химической физики имени Семенова Российской академии наук (*ФИЦ ХФ РАН*) от старшего научного сотрудника кандидата наук Терезы Анатолия Михайловича. Отзыв положительный, с замечаниями: на стр.4 наблюдается опечатка при ссылке на детальный кинетический механизм (ДКМ) работы [3], в котором рассматриваются 20 элементарных обратимых реакции, а не 21, как указано в автореферате. Второй пункт: к сожалению, в автореферате не представлено рассмотрение других детальных кинетических механизмов, что дало бы возможность получения оценки влияния химических превращений на очаговое воспламенение в зонах больших градиентов температуры и давления (1-й и 2-й пределы воспламенения). Третий пункт: в автореферате отсутствует какая-либо информация о распределении промежуточных продуктов горения в зоне воспламенения и распространения очагов пламени. На этом замечания закончены.

(Четвертый отзыв) Четвертый отзыв поступил из Института проблем химической физики Российской академии наук (*ИПХФ РАН*) от заведующего лабораторией доктора физ.-мат. наук Султанова Валерия Гулямовича. Отзыв положительный, без замечаний.

Председатель

Спасибо. Ксения Сергеевна, пожалуйста, вам предоставляется возможность ответить на вопросы и если они как-то комбинируются, то пожалуйста не следуйте формально количеству отзывов, а по существу вопросов.

Мельникова К.С.

Да, математическое моделирование проводилось в двумерной геометрии, но хочется сказать, что все механизмы, которые были выявлены, с помощью математического моделирования, будут качественно воспроизводиться в любом случае. Также мы провели осесимметричные расчеты для начальной стадии всплытия нашего очага горения. Если рассматривать динамику всплытия очага, образуются очень интересные эффекты на поздней стадии всплытия и это широкий круг задач для дальнейшего исследования. Дальше были замечания по поводу учета влияния эффектов термодиффузии. Да, в математическую модель не были включены эффекты термодиффузии. Я бы хотела это обосновать. Для ультра-бедных смесей, которые рассматривались в моей диссертации, есть работы Эрна, где исследовалось влияние термодиффузии на характеристики горения (*Мельникова К. С. демонстрирует слайд с соответствующими графиками*). Для ультра-бедных смесей не наблюдается различие в скорости горения с учетом и без учета термодиффузии. Также в работе было показано, что довольно-таки незначительно изменяется пламени и распределение промежуточных продуктов. Дальше, в тексте диссертации у меня отсутствует ссылка на формулу. Я ее брала из Варнатца. И я полностью согласна насчет замечания по поводу диффузионно-тепловой неустойчивости. Далее вопрос по модели подсеточной турбулентности. Мы не включали модель турбулентности, потому что размер вычислительной ячейки позволял разрешать вихри, которые могли бы возникнуть. И по поводу способа подавления образования вторичных очагов. Я бы хотела отметить, что наличие вертикальной стенки приводит к снижению скорости всплытия примерно в два раза и также не наблюдается образования дополнительных очагов горения (*Мельникова К. С. демонстрирует слайд с соответствующими графиками*). Это механизм. Спасибо за замечание, это всё, что я хотела сказать по этому вопросу.

Дальше были следующие отзывы. Действительно была опечатка, у нас было 20 реакций в детальном кинетическом механизме. В тексте автореферата отсутствуют графики с распределением промежуточных продуктов горения, но в тексте диссертации представлены все эти распределения на графиках 5,6,7 и 15. Также я в диссертации не исследовала влияние выбора детального кинетического механизма на результаты, потому что мы хорошо опробовали в нашей лаборатории механизм Керомнес, на множестве задач и также в нашей лаборатории были проведены исследования применимости разных кинетических механизмов. Это было осуществлено в диссертации Анны Смыгалиной, в данной диссертации не стояла такая задача. Я ответила на все вопросы.

Председатель

Спасибо, Ксения Сергеевна. И мы переходим тогда к заслушиванию официальных оппонентов. Я прошу Сергея Евгеньевича Якуша, пожалуйста. Ознакомьте нас со своим мнением. Я попрошу Вас сосредоточиться на своей оценке, а не с ознакомлением нас диссертацией, с которой мы уже познакомились.

Якуш С.Е.

Уважаемый Николай Евгеньевич, уважаемые члены диссертационного совета. Диссертация, которую мы сегодня рассматриваем, это хороший пример вычислительной диссертации, вычислительной работы. Актуальность ее уже подчеркивалась, я остановлюсь на этом. Это проблемы, связанные с безопасностью, но в тоже время очень интересно рассматривать вопросы о горении бедных смесей, с точки зрения теории горения, поскольку в теории горения известно, что есть такие фундаментальные величины, характеризующие смесь, как, например, нормальная скорость распространения пламени или нормальная детонационная скорость. А вот вопрос о том почему происходит погасание пламени, он в значительной степени и понят, а с другой стороны, является открытым, поскольку это всегда взаимодействие пламени с внешним миром либо радиационное погасание, либо конвективное. Последний тип взаимодействия как раз рассматривается в этой работе. Это очень интересная тема, которую невозможно изучить на основе одномерных моделей, здесь действительно необходимо детальное численное моделирование. Мне кажется, Ксения Сергеевна с успехом справилась с моделированием ультра-бедных смесей близких по составу к пределу горения. Рассматривать горение ультра-бедных смесей, конечно, невозможно на основе простых брутто реакций. И очень хорошо, что сейчас на слайде представлен детальный механизм химической кинетики. Не буду останавливаться на структуре диссертации, отмечу, что понравился детальный анализ сложных структур пламени, которые возникают. Для околопредельных смесей типичен разрыв фронта пламени и образование множественных очагов. В диссертации описано взаимодействие очагов с полем скорости, это действительно новые результаты и 4 Глава, в которой предложена карта режимов, полученная используя качественные оценки. Это значит, что данную классификацию можно будет уточнять и проводить более четкие границы, которые возможно не будут прямыми. Я хотел бы отметить, что это очень интересный подход, нетривиальный. Конечно сравнивать с пузырьками в жидкости, это довольно натянуто, но на качественном уровне можно, хоть и имеется поверхностное натяжение, которое играет свою роль. Причем при горении будет переменная масса этого пузырька, поскольку всё время генерируются продукты. В целом диссертация хорошо изложена, богато иллюстрирована, качественно написан обзор литературы. Я хочу

зачитать те вопросы, которые у меня возникли. По содержанию диссертации можно высказать следующие замечания: в названии Главы 2 говорится о моделировании горения ультра-бедных составов водородно-воздушных смесей на больших пространственных масштабах. Слова на больших пространственных масштабах вызывают ассоциации с промышленными взрывами, такими как были на Фукусиме. Это всегда турбулентное горение, всегда ударные волны и так далее. Возникают такие ассоциации. Здесь же мы рассматриваем ламинарные пламена, и размеры вычислительной области 30 на 50 см. Мне кажется это неудачно выбранное слово в названии и стоит более точно использовать терминологию. Второй вопрос фактически совпадает с тем, что сегодня уже звучало. Это двумерная постановка, хотелось бы более детального сравнения с осесимметричной постановкой, за исключением той задачи, с пламенем у вертикальной стенки. Ведь все результаты показываю, что никакого нарушения симметрии и какого-то перехода к хаосу нет даже в геометрии x - y . Фактически пламя остается симметричным. Поэтому осесимметричные расчеты напрашиваются, а на будущее хотелось бы сказать, что очень интересные результаты были недавно получены в Санкт-Петербургском политехническом университете по околопредельному горению в микрогравитации, где были получены существенно трехмерные структуры с бегающими пламенами. Хотя, конечно, трехмерные расчеты - это большие затраты, но они себя окупят.

Небольшое замечание на странице 19 тепловая энтальпия смеси h_s неверно названа энтальпией образования, кроме того, указанная величина – это удельная массовая, а не молярная энтальпия. А в целом я должен зачитать заключение. Высказанные замечания не влияют на высокую оценку диссертационной работы, не снижают общей значимости проведенных исследований. Можно сделать заключение о том, что данная диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным соответствующими пунктами положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Мельникова Ксения Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 - теплофизика и теоретическая теплотехника. Спасибо.

Председатель

Спасибо, Сергей Евгеньевич. Я так понимаю, что вопросов острых нет к соискателю. Только в экстренных случаях такое может быть. Поэтому спасибо. Ксения Сергеевна, вам время для ответа.

Мельникова К.С.

Спасибо за замечания. Хотелось бы ответить на первое замечание. Как нам кажется, эксперименты, которые проводились Виктором Владимировичем Голубом и его командой, проводились в большом объеме: диаметр области 1,5 метра и высота 4 метра. Например, ГОСТ нам предлагает определять нижний концентрационный предел в объеме с диаметром 30 см и высотой 80 см. По сравнению с этими размерами, я бы сказала, что у нас был крупномасштабный эксперимент. Хочу добавить, что расчетов даже в таких расчетных областях никто не делал, ограничиваясь значительно меньшими объемами. Вопрос про осесимметричные расчеты я уже осветила ранее. Замечание по поводу энтальпии, да, я совершила ошибку, спасибо за замечание.

Председатель

Спасибо, Ксения Сергеевна. Мы переходим к мнению второго оппонента Фурсенко Романа Викторовича, который сообщит нам свое мнение по каналам дистанционной связи.

Фурсенко Р.В.

Добрый день. Меня видно, слышно?

Председатель

Да, слышно и видно.

Фурсенко Р.В.

Спасибо, могу начинать?

Председатель

Да, Роман Викторович, пожалуйста.

Фурсенко Р.В.

Уважаемые члены диссертационного совета, я очень рад, что есть сейчас такая возможность удаленно сказать всё, что я думаю об этой работе. Про актуальность тут уже говорилось, я хочу добавить еще с другой стороны, что в настоящее время, в связи с стремлением к экологической безопасности, сегодня рассматривается переход на водородную энергетику и безусловно с этой точки зрения эта диссертация также актуальна, так как, бедные смеси это всегда актуально с точки зрения снижения вредных выбросов. И водород актуален с этой точки зрения, по причине возможности будущего

перехода или попыток к переходу к водородной энергетике. Диссертация производит очень цельное впечатление, то есть она посвящена одной проблеме, которая рассматривается с разных. Детально рассмотрен физический процесс. Сложно рассматривать процессы горения, так как очень много взаимосвязанных явлений и химическая кинетика и диффузионно-тепловые различные неустойчивости, гидродинамическая неустойчивость, которая связана с взаимодействием нагретого газа и течений, но во многих случаях гидродинамическая неустойчивость, хоть она и проявляется, но течения более менее жестко заданы. Но в задаче, которую рассматривала Ксения Сергеевна, есть очень жесткая связь между тепловыми эффектами и гидродинамикой, которая проявляется в эффектах конвекции. Поэтому такое аккуратное и тщательное описание движения этих очагов горения, оно, безусловно, очень важно и с теоретической точки зрения, потому что очень последовательно и подробно описаны все процессы, которые там происходят. Хотя, я сделаю ремарку, что действительно трехмерность может существенно тут влиять. Теоретическая значимость работы очень велика с точки зрения описания процессов горения в таких системах, где очень жесткая связь гидродинамики и тепловых процессов. С практической точки зрения тоже, следует отметить достаточно большое количество сопоставлений между расчетами и экспериментами, что является положительной чертой этой работы. Я имею в виду сопоставление пределов горения, которые были проведены и качественное сопоставление с уникальными экспериментами, которые проводятся в ОИВТ, которые позволяют нам сопоставить то, что мы видим в расчетах и в реальности. С положительной точки зрения необходимо отметить детальное численное моделирование, использованы достаточно детализированные модели и детальная кинетика и гидродинамика. Я считаю, что это выполнено на высоком уровне, с точки зрения современного развития науки о горении. Чтобы не задерживать я перейду к замечаниям, они тоже есть. Сразу скажу, что они никак не снижают высокую оценку работы, я зачитаю замечания.

1. В ряде мест в работе проводятся аналогии и соотнесение полученных результатов с известными из литературы результатами о “шариках пламени”. Такое сопоставление представляется не вполне корректным, поскольку одним из основных механизмов, определяющих поведение “шарика пламени” являются радиационные теплотери, которые в модели, используемой в диссертации, не учитываются.
2. Радиационные теплотери могут оказывать влияние на концентрационные пределы, однако в работе их влияние не учитывается и не обсуждается. Также не обсуждается обоснованность приближения отсутствия радиационных теплотерь,

хотя, например, приближение малой сжимаемости, вызывающее гораздо меньше вопросов, подробно обосновано.

3. Из работы не ясно, при каких условиях (например, концентрациях водорода) волна горения существует в виде пространственно локализованного очага, а при каких происходит переход к непрерывному фронту пламени. Я здесь поясню, что для бедных смесей часто происходит горение в виде очагов, но где-то же должен быть переход от непрерывного фронта пламени к отдельным очагам. Такие условия не обсуждались в работе, к сожалению.
4. Аналогия “пузырек-пламя”, используемая в главе 4 вызывает ряд вопросов. В частности, каковы границы применимости этой аналогии, например, возможно ли описание перехода от очага горения к непрерывному фронту? Что является аналогом параметра концентрации водорода в данной аналогии?
5. Непонятно почему для снижения вычислительных затрат в работе выбрано использование весьма неочевидной аналогии “пузырек-пламя” вместо, например, проведения расчетов с одно-, двух- стадийной глобальной кинетикой, которые позволили бы получить качественные результаты не прибегая к аналогиям.
6. В работе упоминается влияние энергии источника зажигания на концентрационные пределы, однако численные результаты исследования влияния начальных условий на пределы воспламенения не приводятся.

Как я сказал ранее, несмотря на замечания на меня работа произвела положительное впечатление. Я озвучил сначала все положительные стороны этой работы. Я считаю, что работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям и ее автор Ксения Сергеевна, безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Председатель

Спасибо, Роман Викторович. Ксения Сергеевна вам время для ответов на замечания.

Мельникова К.С.

Большое спасибо за замечания. Первое замечание было про использование термина «шарик пламени» при описывании начальной стадии динамики. В тексте диссертации я говорю, что сразу после воспламенения наш очаг схож с шариком пламени в условиях микрогравитации. Мы сравнивали визуальную структуру, они очень похожи. Да, механизмы горения существенно отличаются. Я имела в виду только внешний вид этих очагов, не утверждая, что механизмы горения у них схожи.

Далее влияние учета радиационных теплотерь. В тексте диссертации действительно это не обосновано, но я хотела бы обосновать это сейчас. На слайде представлены данные из работа Жу и Шошина (*Мельникова К. С. демонстрирует слайд с соответствующими данными*), они исследовали ультра-бедные пламена и описывали влияние различных тепловых потерь на горение. На сегодняшний день известно, что в

наибольшей степени на динамику горения таких смесей влияют потери, связанные с конвекцией. Также в работе указано, что с ростом давления увеличивается доля радиационных теплопотерь. У нас давление было примерно постоянным и равно 1 атмосфере. Судя по этим данным у нас имеется погрешность до 5% по тепловым потерям. В диссертации это не было освещено.

В диссертации не рассматривался переход от очагового горения к непрерывному фронту потому, что это не входило в задачи диссертации. Я рассматривала горение ультра-бедных водородно-воздушных смесей в очаговом виде. Но в нашей лаборатории были проведены эти исследования, до данной диссертации. Было показано, что устойчивая волна горения образуется при концентрации водорода более 10-11%.

Четвертое замечание. Аналогом концентрации водорода у нас был перепад плотностей. Также был вопрос о применимости диаграммы, полученной в 4 Главе к горению, осуществляемому сплошным фронтом. Для таких задач данная диаграмма не может быть применена, она может быть применена только для прогнозирования поведения очаговых структур.

Пятое замечание было о применении других механизмов химической кинетики для снижения вычислительных затрат. Спасибо за замечание, чтобы провести такое исследование необходим большой объем вычислительных затрат, так как не всякая 1-ступенчатая модель может корректно описать процессы горения ультра-бедных водородно-воздушных смесей. В рамках диссертации это не рассматривалось.

Влияние области зажигания на нижний концентрационный предел. В диссертации было исследование влияние области зажигания на воспламенение смеси, так как мы не наблюдали воспламенения смеси областью с радиусом 1 мм. Было сказано, что если увеличить энергию, подводимую во время воспламенения, то мы сможем некоторое время наблюдать процессы горения в смеси 4,5%. Стоит отметить, что для устойчивых смесей с содержанием водорода 5,25% и более, если подводимая энергия превышает значение, которое я рассчитала (*Мельникова К. С. демонстрирует слайд с соответствующим графиком*), то повышение энергии зажигания не повлияет на характеристики горения. Если рассматривать околопредельные смеси, то если подвести недостаточную энергию, то не будет наблюдаться горение, но если увеличить область зажигания, то некоторое время удастся наблюдать горение, но оно в итоге угаснет, как бы мы не увеличивали начальный подвод энергии. Спасибо.

Председатель

У нас время для дискуссий подошло. Прошу желающих высказаться. Мне кажется у нас было достаточно плодотворное обсуждение и на те вопросы, что я сначала задавал, я услышал мнение оппонентов. Единственно, Ксения Сергеевна, я хочу сказать, что вам предлагали эти бедные смеси не для того, чтобы описывать весь процесс, который несомненно требует больших реакций, что это было бы лучше, чем просто пузырек. А это, по-моему, факт.

Фурсенко Р.В.

Да, я это и имел в виду.

Председатель

Алексей Юрьевич, пожалуйста.

Вараксин А.Ю.

Уважаемый председатель и коллеги по диссертационному совету, я думаю, что мы сегодня заслушали прекрасный доклад. Сообщение, которое посвящено актуальнейшей теме, которая в нашем институте развивается много лет. Мы прекрасно знаем эту команду, во главе которой руководитель данной диссертационной работы. Видим квалификацию Ксении Сергеевны, видна глубина проработки материала. Очень сложная задача, она многокритериальная. Роль той же кинетики, достаточно малоразмерные структуры, когда малые числа Рейнольдса, далекие условия от большого объема, тем не менее наблюдаются эти вихри. Можно было глубже пойти с точки зрения оценки роли гидродинамики, горения. Оценить, наверняка этого в работе не делалось, размер Колмогоровских вихрей, поскольку структурки получаются очень маленькие. Мне ближе задача с пузырьками газа, но тут совсем далековато получается. Но чтобы долго не говорить, резюмируя, мы прекрасно видим, что работа выполнена на высоком научном уровне, соблюдены все требования предъявляемые ВАК к кандидатским. Прекрасно мы сегодня слышали ответы на все прозвучавшие вопросы, поэтому я считаю, что диссертант полностью удовлетворяет всем требованиям и я буду голосовать положительно, что и предлагаю сделать членам совета.

Председатель

Спасибо, Алексей Юрьевич. Я думаю, что вы выразили мнение большинства членов совета. Необходимо переходить к голосованию.

Ученый секретарь

Уважаемые коллеги! Голосование открыто. Традиционно заходите на сайт.

(Проводится процедура голосования).

Дорогие коллеги, голосование закончилось! У нас есть результаты голосования членов диссертационного совета. Итак, на защите сегодня присутствовало 22 члена диссертационного совета, из них 13 очно и 9 онлайн. Из них 11 по профилю диссертации, 5 экспертов по профилю участвовали очно. Кворум собран, голосование прошло. Проголосовало 22 человека. Все проголосовали «за», воздержавшихся нет. Просьба утвердить результаты голосования. Кто «за»? Если кто-то против прошу озвучить это. *(Протокол счетной комиссии утвержден единогласно).* Спасибо большое.

Председатель

Тогда мы поздравляем Ксению Сергеевну и желаем ей дальнейших успехов.

Остается еще важная часть. Соискателю просьба отмечать замечания, которые сейчас будут по проекту заключения совета. Переходим к обсуждению проекта заключения. Есть замечания, пожелания? *(Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения).*

Председатель

Всем спасибо, тогда предлагаю принять проект со сделанными замечаниями, тот проект заключения, который у нас есть. Голосуйте, прошу присутствующих онлайн сказать, есть ли те, кто против. Если больше нет более желающих обсуждать проект, тогда мы должны проголосовать с теми замечаниями, которые были указаны и высказаны. Кто за заключение с замечаниями, которые были указаны? Кто против? Нет. Кто воздержался? Нет. Спасибо, принято единогласно. *(Проект заключения принят единогласно)*. Мы закончили с защитой Ксении Сергеевны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.193.01 (Д 002.110.02),
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 27.04.2022г. № 6

О присуждении Мельниковой Ксении Сергеевны, гражданке Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Горение ультра-бедных составов водородно-воздушных смесей на больших пространственных масштабах» по специальности 1.3.14 - теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 24.02.2022г., (протокол заседания № 4) диссертационным советом 24.1.193.01 (Д 002.110.02), созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, Ижорская ул., д. 13, стр. 2, (495) 485-8345, jiht.ru), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 105/нк от 11.04.2012г.

Соискатель Мельникова Ксения Сергеевна 1992 года рождения, в 2015 году окончила Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)".

В 2019 году окончила очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

Работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории № 15.2 – Вычислительной физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Диссертация выполнена в Лаборатории № 15.2 – Вычислительной физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Научный руководитель доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией № 15.2 - Вычислительной физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук Киверин Алексей Дмитриевич.

Официальные оппоненты:

- доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией «Термогазодинамики и горения» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук Якуш Сергей Евгеньевич;

- доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией «Физико-математического моделирования процессов горения» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук Фурсенко Роман Викторович;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (г. Москва) в своем положительном заключении, составленном сотрудниками отделения анализа безопасности ядерных энергетических установок: заведующим отделением д.т.н. Киселевым А.Е., зам. заведующего отделением д.ф.-м.н. Семеновым В.Н. и утвержденном 31.03.2022 директором ИБРАЭ РАН, доктором физико-математических наук Л.А. Матвеевым, указала, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой с высокой научной значимостью, которая обусловлена тем, что расчетная оценка нижнего концентрационного предела, классификация режимов горения, представляют практический интерес с точки зрения анализа и обоснования безопасности объектов, на которых возможны утечки и выбросы водорода в атмосферу. Практически результаты работы могут быть использованы при проектировании и анализе безопасности объектов производства, хранения, транспортировки и использования водорода.

Основное содержание диссертации изложено в 6 публикациях в журналах, рекомендованных ВАК, 6 из которых индексируются в международной системе «WebofScience»:

1. I.S. Yakovenko, M.F. Ivanov, A.D. Kiverin, K.S. Melnikova Large-scale flame structures in ultra-lean hydrogen-air mixtures // *Int. J. Hydrogen Energy*. 2018. V. 43. p. 1894-1901.
2. В.В. Володин, В.В. Голуб, А.Д. Киверин, К.С. Мельникова, А.Ю. Микушкин, И.С. Яковенко Динамика очагов горения в ультра-бедных водородно-воздушных смесях в крупных масштабах в условиях земной гравитации // *Горение и взрыв*. 2019. Т.2, №12. стр. 53-59.
3. V.V. Volodin, V.V. Golub, A.D. Kiverin, K.S. Melnikova, A.Y. Mikushkin, I.S. Yakovenko Large-scale dynamics of ultra-lean hydrogen-air flame kernels in terrestrial gravity conditions // *Combust. Sci. Tech*. 2021. V. 193(2). p. 225-234.
4. I. Yakovenko, A. Kiverin, K. Melnikova Ultra-Lean Gaseous flames in terrestrial gravity conditions//*Fluids*. 2021. V. 6(21). 1058113. (ISSN 2311-5521).
5. A. D. Kiverin, I.S. Yakovenko, K. S. Melnikova On the structure and stability of ultra-lean flames // *J. Phys. Conf. Ser.* 2019. V. 1147. 012048.
6. A. D. Kiverin, K. S. Melnikova, K. O. Minaev, A.E.Smygalina, I.S. Yakovenko Peculiarities of mathematical modeling of combustion of hydrogen flames // *J. Phys. Conf. Ser.* 2019. V. 1348. 012091.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от нижеследующих организаций:

1. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук** (зам. директора по научной работе, д.ф.-м.н., доцент Шарыпов О.В.) – отзыв положительны, без замечаний.

2. **Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси** (зав. лаб., к.ф.-м.н. Кривошеев П.Н.) – отзыв положительный, с замечаниями:

1) В тексте автореферата не указано какая модель турбулентности использовалась автором, и использовалась ли вообще. Возможно ответ на указанный вопрос содержится в тексте диссертации.

2) Основные результаты диссертации, пункт 2. На мой взгляд не совсем корректно писать про способ подавления образования вторичных очагов пламени и снижения скорости всплытия очага горения, с помощью теплоотвода к стенкам. Вряд ли тут речь может идти о способе как таковом.

3. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук** (старший научный сотрудник, к.ф.-м.н., Тереза А.М.) – отзыв положительный, с замечаниями:

1) На стр.4 наблюдается опечатка при ссылке на детальный кинетический механизм (ДКМ) работы [3], в котором рассматриваются 20 элементарных обратимых реакции, а не 21, как указано в автореферате.

2) К сожалению, в автореферате не представлено рассмотрение других ДКМ, что дало бы возможность получения оценки влияния химических превращений на очаговое воспламенение в зонах больших градиентов температуры и давления (1-й и 2-й пределы воспламенения).

3) В автореферате отсутствует какая-либо информация о распределении промежуточных продуктов горения в зоне воспламенения и распространения очагов пламени.

4. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химической физики Российской академии наук** (зав. лаб., д.ф.-м.н. Султанов В.Г.) – отзыв положительный, без замечаний.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

- доктор физико-математических наук Якуш Сергей Евгеньевич является ведущим специалистом в области физики горения и взрыва газообразных и дисперсных сред, а также крупным специалистом в области численного моделирования многофазных и реагирующих течений.

1. Rashkovskiy, S.A., Yakush, S.E. (2020). Numerical simulation of low-melting temperature solid fuel regression in hybrid rocket engines. // *Acta Astronautica*, 176, 710-716.

2. Рашковский, С.А., Милёхин, Ю.М., Федорычев, А.В., Якуш, С.Е. (2020). Механизм стабилизации горения в канале заряда твердого топлива в прямоточном воздушно-реактивном двигателе. // *Доклады Академии наук*, 390(1), 51-56.

3. Борисов, В.Е., Якуш, С.Е. (2019). Численное моделирование распространения метанового пламени в зазоре между параллельными пластинами. // *Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша*, 4, 1-20.

- доктор физико-математических наук Фурсенко Роман Викторович является признанным специалистом в области нестационарного горения в системах с рециркуляцией тепла, пористых средах, а также в условиях близких к пределам горения.

1. Maznoy, A., Pichugin, N., Yakovlev, I., Fursenko, R., Petrov, D., Shy, S. (2021). Fuel interchangeability for lean premixed combustion in cylindrical radiant burner operated in the internal combustion mode. // *Applied Thermal Engineering*, 186, 115997.

2. Fursenko, R.V., Chudnovskii, V.M., Minaev, S.S., Okajima, J. (2020). Mechanism of high velocity jet formation after a gas bubble collapse near the micro fiber immersed in a liquid. // International Journal of Heat and Mass Transfer, 163, 120420.

3. Fursenko, R., Mokrin, S., Minaev, S. (2019). Stationary combustion regimes and extinction limits of one-dimensional stretched premixed flames in a gap between two heat conducting plates.// Proceedings of the Combustion Institute, 37(2), 1655-1661.

- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук является профильной организацией, специализирующейся в области комплексных исследований проблем безопасности объектов атомной энергетики и промышленности. В организации разрабатываются эффективные подходы к обоснованию безопасности, которые базируются на разработке и практическом применении современных математических и программных алгоритмов, разработке детальных физических моделей сложных процессов и методов вероятностного анализа безопасности, организации банков экспериментальных и эксплуатационных данных, создании численных моделей переноса радиоактивных и химически опасных веществ в окружающей среде и эффективных методик оценки влияния этих веществ на природную среду и человека. В частности, в отделении «Анализа безопасности ядерных установок» разрабатываются физико-математические модели процессов тепло- и массопереноса в задачах анализа безопасности на объектах использования атомной энергии, проводится разработка расчетных кодов и интегрированных программных комплексов для анализа безопасности АЭС с реакторами водо-водяного типа на тепловых нейтронах и АЭС с реакторами на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем.

1. Tolia, I. C., Kanaev, A. A., Koutsourakis, N., Glotov, V. Y., Venetsanos, A. G. (2021). Large Eddy Simulation of low Reynolds number turbulent hydrogen jets - Modelling considerations and comparison with detailed experiments. // International Journal of Hydrogen Energy, 46(23), 12384-12398.

2. Afanasiev, N.A., Goloviznin, V.M., Semenov, V.N., Sipatov, V.N. Nesterov, S.S. (2021). Direct simulation of thermoacoustic instability in gas generators using the cabaret scheme. // Mathematical models and Computer simulations, 13(5), 820-830.

3. Большов, Л.А., Глотов, В.Ю., Головизнин, В.М., Канаев, А.А., Киселев, А.Е., Юдина, Т.А. (2019). Валидация кода CABARET-SC1 на экспериментах по водородной взрывобезопасности на АЭС. // Атомная энергетика, 127(4), 18-23.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– Впервые описаны ведущие физические механизмы, определяющие развитие горения в околопредельных ультра-бедных водородно-воздушных смесях внутри неограниченных объемов, заполненных предварительно перемешанной газообразной смесью. На основе результатов численного моделирования продемонстрирована ведущая роль газодинамических течений, формирующихся при всплытии очага горения в гравитационном поле. Наличие вихревых потоков приводит к растяжению и разрушению фронта пламени, в результате чего наблюдается сложная многоочаговая структура. В зависимости от активности смеси наблюдается тушение горения (в смесях с объемным содержанием водорода 5% и менее) или же наблюдается устойчивое горение в виде сложной многоочаговой структуры пламени (для смесей с содержанием водорода 5,5–9,0%).

– Продемонстрирован способ подавления образования вторичных очагов горения и снижения скорости всплытия очага горения, с помощью теплоотвода к стенкам.

– Продемонстрировано хорошее согласие проведенных расчетов с экспериментальными данными по динамике всплытия очага горения, его топологии, что подтверждает корректность результатов математического моделирования и выявленных на его основе базовых физических механизмов, влияющих на процессы горения ультра-бедных водородно-воздушных смесей.

– Предложена классификация режимов устойчивого и неустойчивого горения ультра-бедных водородно-воздушных смесей на основе аналогии «пламя-пузырек» и на основе совместного анализа динамики газовых пузырьков в приближении несмешивающихся газов и динамики очагов ультра-бедного горения. Выявлено два основных сценария развития горения в ультра-бедных водородно-воздушных смесях в зависимости от содержания водорода в смеси.

Научная и практическая значимость исследования состоит в изучении тонких механизмов погасания пламени при рассмотрении горения ультра-бедных водородно-воздушных смесей в условиях земной гравитации, для которых невозможно стационарное фронтное горение. А именно, в выявлении определяющей роли вихревых течений в эволюции очага горения. Полученные в ходе исследования данные по механизмам тушения горения и по значениям нижнего концентрационного предела распространения горения имеют несомненное прикладное значение, что связано в первую очередь с оценкой рисков при возникновении аварийных ситуаций при производстве, хранении и транспортировке водорода, а также при авариях на АЭС. Кроме того, количественная

информация о пределах возгорания водорода может найти применение при проектировании датчиков водорода и систем его рекомбинации.

Результаты работы могут быть использованы для широкого круга исследований в области физики нестационарного горения и взрыва, проводимых в институтах Российской академии наук, занимающихся проблемами горения и безопасности, таких как Объединенный институт высоких температур РАН, Институт безопасного развития атомной энергетики РАН, Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Федеральный исследовательский центр Химической физики им. Н.Н. Семенова РАН. А также в прикладных организациях в области пожаровзрывобезопасности, таких как Всероссийский институт противопожарной обороны МЧС РФ, Академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что сделанные в работе выводы основаны на детальном анализе имеющейся в литературе экспериментальной и теоретической информации, а также на специально поставленных и решенных численно задачах. При этом в основу математической модели и вычислительного алгоритма, использованных при проведении численных исследований, положены общепринятые на сегодняшний день концепции описания фундаментальных законов горения газообразных сред. Проверка корректности полученных результатов основана на процедуре валидации использованной математической модели и реализующих ее компьютерных кодов. Верификация результатов осуществлялась с привлечением экспериментальных данных, полученных в лаборатории физической газовой динамики ОИВТ РАН, а также с помощью данных, имеющихся в литературных источниках. Полученные расчетные результаты для значения нижнего концентрационного предела распространения горения согласуются с известными экспериментальными и расчетными данными.

Личный вклад соискателя состоит в разработке физико-математической модели в приближении малой сжимаемости, проведении вычислений, анализе и интерпретации результатов. Все основные результаты, вошедшие в диссертационную работу, сформулированы коллективом авторов с непосредственным участием автора диссертации.

Апробация результатов исследования проводилась на 7 российских и международных конференциях и симпозиумах. Основные публикации по выполненной работе подготовлены при определяющем участии автора.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было. Соискатель Мельникова Ксения Сергеевна согласилась с замечаниями и ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию и обоснования.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям пунктов 9-11, установленными Положением о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г., ред. 11.09.2021г.

На заседании от 27.04.2022г. диссертационный совет принял решение присудить Мельниковой Ксении Сергеевне ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 - теплофизика и теоретическая теплотехника.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве 22 человек, из них очно: 5 докторов наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 5 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, дистанционно: 3 доктора наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 6 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 31 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 22, против 0, недействительных бюллетеней - 0.

Зам. председателя диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02)

д.ф.-м.н., профессор

Андреев Н.Е.

Ученый секретарь диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02)

к.ф.-м.н.

Тимофеев А.В.



27.04.2022г.