

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

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д 002.110.03 на базе
Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Объединенного института высоких температур Российской академии наук
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)

от 25 декабря 2017 г. (протокол № 10)

Защита диссертации **Крикуновой Анастасии Игоревны**
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
**«Колебания и неустойчивости горения предварительно перемешанной смеси
в условиях микрогравитации»**

Специальность 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

Москва – 2017

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д 002.110.03 на базе
Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Объединенного института высоких температур Российской академии наук
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)

Протокол № 10 от 25 декабря 2017 г.

Диссертационный совет Д 002.110.03 утвержден Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 15.02.2013 г. № 75/нк в составе 25 человек. На заседании присутствуют 22 человека, из них 9 докторов наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы и 13 докторов наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы. Дополнительно введены на разовую защиту 0 человек. Кворум имеется.

Председатель – председатель диссертационного совета Д 002.110.03
чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор Вараксин А.Ю.

Ученый секретарь – ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.03
д.т.н. Директор Л.Б.

1	Вараксин А.Ю.	чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н.	01.02.05	Присутствует
2	Батенин В.М.	чл.-корр. РАН, д.т.н.	05.14.01	Присутствует
3	Директор Л.Б.	д.т.н.	05.14.01	Присутствует
4	Алхасов А.Б.	д.т.н., проф.	05.14.01	Отсутствует
5	Аминов Р.З.	д.т.н.	05.14.01	Присутствует
6	Баженова Т.В.	д.ф.-м.н., проф.	01.02.05	Присутствует
7	Битюрин В.А.	д.ф.-м.н., с.н.с.	01.02.05	Присутствует
8	Воробьев В.С.	д.ф.-м.н., проф.	01.02.05	Присутствует
9	Зайченко В.М.	д.т.н., с.н.с.	05.14.01	Присутствует
10	Зейгарник В.А.	д.т.н., с.н.с.	05.14.01	Присутствует
11	Климов А.И.	д.ф.-м.н., с.н.с.	01.02.05	Присутствует
12	Кобзев Г.А.	д.ф.-м.н., проф.	01.02.05	Присутствует
13	Красильников А.В.	д.т.н., с.н.с.	01.02.05	Присутствует
14	Леонов С.Б.	д.ф.-м.н.	01.02.05	Отсутствует
15	Масленников В.М.	д.т.н., проф.	05.14.01	Присутствует
16	Медин С.А.	д.т.н., проф.	01.02.05	Присутствует
17	Недоспасов А.В.	д.ф.-м.н., проф.	01.02.05	Отсутствует
18	Поляков А.Ф.	д.т.н., проф.	01.02.05	Присутствует
19	Попель О.С.	д.т.н.	05.14.01	Присутствует
20	Пятницкий Л.Н.	д.ф.-м.н., проф.	01.02.05	Присутствует
21	Седлов А.С.	д.т.н., проф.	05.14.01	Присутствует
22	Синкевич О.А.	д.ф.-м.н., проф.	01.02.05	Присутствует
23	Томаров Г.В.	д.т.н., проф.	05.14.01	Присутствует
24	Чиннов В.Ф.	д.ф.-м.н., проф.	05.14.01	Присутствует
25	Шугаев Ф.В.	д.ф.-м.н., доцент	01.02.05	Присутствует

ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации научного сотрудника лаборатории 4.3.1 – экспериментальных и теоретических исследований горения отдела 4.1 Электрофизики и энергетики Научно-исследовательского центра электрофизики и тепловых процессов (НИЦ-4) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) **Крикуновой Анастасии Игоревны** на тему «**Колебания и неустойчивости горения предварительно перемешанной смеси в условиях микрогравитации**». Диссертация представлена на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы. Диссертация выполнена на кафедре физической механики Московского физико-технического института (государственного университета) (141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9., mipt.ru).

Научный руководитель:

Сон Эдуард Евгеньевич – академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физической механики МФТИ, заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук, г. Москва.

Официальные оппоненты:

Маркович Дмитрий Маркович - гражданин РФ, д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН, член Президиума РАН, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИТ СО РАН; Россия, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, д. 1)

Черкасов Сергей Гелиевич – гражданин РФ, д.ф.-м.н., главный научный сотрудник Отделения твердотопливных ракетных двигателей Государственного научного центра Российской Федерации федерального государственного унитарного предприятия «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша» (ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»; Россия, 125438, г. Москва, ул. Онежская, д. 8).

Ведущая организация:

Государственный научный центр Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова» (ГНЦ ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»; Россия, 111116, г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 2).

На заседании присутствуют официальные оппоненты: д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН, член Президиума РАН, директор ФГБУН ИТ СО РАН **Маркович Д.М.** и д.ф.-м.н., главный научный сотрудник ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» **Черкасов С.Г.**; научный руководитель Крикуновой А.И. д.ф.-м.н., академик РАН, заместитель директора по научной работе ФГБУН ОИВТ РАН Сон Э.Е.

СТЕНОГРАММА

Председатель

Уважаемые члены диссертационного совета, уважаемые присутствующие, начинаем наше заседание, если нет возражений. Сегодня на повестке дня защита диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Крикуновой Анастасии Игоревны, на тему: «Колебания и неустойчивости горения предварительно перемешанной смеси в условиях микрогравитации». Специальность 01.02.05. - механика жидкости газа и плазмы. Итак попросим ученого секретаря Леонида Бенциановича сообщить о предоставленных соискателем документах для защиты.

Ученый секретарь

(Зачитывает данные о соискателе по материалам личного дела и сообщает о соответствии представленных документов требованиям ВАК Министерства образования и науки РФ).

Председатель

Так, уважаемые коллеги, есть ли вопросы к Леониду Бенциановичу? Вопросов нет. Тогда представляем слово Анастасии Игоревне для изложения основных положений диссертации. Просьба укладываться в регламент – 20 минут.

Крикунова А.И.

Выступает с докладом по диссертационной работе (выступление не стенографируется, доклад Крикуновой А.И. прилагается).

Председатель

Спасибо, Анастасия Игоревна. Итак, пожалуйста, вопросы.

Кобзев Г.А.

Анастасия, расскажите, пожалуйста, чуть-чуть подробнее про эксперимент. Как создавалась микрогравитации и о горелке.

Крикунова А.И.

Можно начать с горелки: использовалось коническое сопло, его профиль был достаточно близок к профилю Витошинского и, как я говорила, на выходе получался прямоугольный профиль скорости. Диаметр основания составлял 30 мм, выходной диаметр сопла - 15 мм. У кольца которое помещалось на выходе внутренний диаметр составлял 10 мм, а внешне варьировался, в итоге в условиях микрогравитации и в наземных условиях использовалось кольцо с внешним диаметром 13 мм. В условиях микрогравитации камера смещения имела высоту 30 мм. Для качественного перемешивания смеси метана и воздуха камера заполнялась стеклянными шариками, которые удерживались двумя сетками, что позволяло достаточно хорошо перемешать смесь, чтобы у нас было симметричное коническое пламя на выходе. В условиях на левитации камера перемешивания имела длину 1 м 30 см. Это позволяло проводить исследование как с блоком шариками так и без него. В обоих случаях перемешивание происходило достаточно хорошо и на выходе получалось симметричное коническое пламя. Теперь о микрогравитации. Сама башня представляла собой вертикально установленную трубу. Внутренний диаметр составлял 3 м, длина - 120 м. Она закрывалась герметично и два часа откачивалась до условия низкого вакуума (10^{-2} торр). Капсула, при помощи подъемного механизма, помещалась под самый купол башни. Когда устанавливалась нужное давление в трубе, а в капсуле все нужные параметры пламени, капсула опускалась в свободный полет и в течение полета 4,7 секунды производились

измерения. Сама капсула представляла собой несколько алюминиевых платформ, на которых размещались все элементы установки: горелка, баллоны с горючим и окислителем, видеокамера, система связи капсулы с землей, в нижней части установки, блок питания, система управления, и также был расположен твердотельный лазер, при помощи которого производились исследования методом лазерной индуцированной флуоресценции радикалов ОН. Часть экспериментов проводилась с использованием лазера и метода флуоресценции, а часть просто при скоростной видеосъемке хемилюминесценции пламени. Также поскольку диагностика производилась при помощи модифицированного метода Particle Tracking Velocimetry, на одной из платформ устанавливалось устройство засева потока частицами оксида циркония.

Батенин В.М.

Пламя инициировалось под куполом?

Крикунова А.И.

Да. Сначала при помощи разряда поджигалось пламя, мы убеждались что оно соответствует необходимым параметрам и тогда капсула отпускалась в свободное падение.

Батенин В.М.

А переходные процессы регистрировались?

Крикунова А.И.

Переходные процессы происходили в течение первых 30 секунд падения капсулы, но они не учитывались в о результатах этой работы. В этом начальном участке возникали такие же неустойчивости, как при акустическом воздействии на пламя перемешанной смеси - изменяется форма и возникают “пагоды”.

Попель О.С.

Капсула не разрушалась при падении?

Крикунова А.И.

Нет. На данном слайде представлено улавливающее устройство. Оно представляет собой цилиндр 3 м в диаметре, 6 м в высоту, наполненный пенопластовыми шариками. Соответственно при падении происходил неупругий удар, шарики деформировались. При приземлении капсулы все равно перегрузка составляла $45g_0$. После приземлении башня снова заполняется воздухом, и капсула достается из улавливающего контейнера, что представлено на данном слайде.

Батенин В.М.

А можно 12 слайд показать?

Крикунова А.И.

Да, конечно.

Батенин В.М.

Какой смысл левого нижнего рисунка? То что число Рейнольдса прямопропорционален скорости это понятно А какой смысл?

Крикунова А.И.

Смысл состоит в том, что показывается совпадения измерений двумя различными способами: методом термоанемометрии и Particle Image Velocimetry.

Батенин В.М.

Все понятно. Спасибо.

Председатель

Такой маленький вопрос. Вот эти частички, которые вы используете (оксида циркония), они должны удовлетворять каким-то требованиям по размеру, по инерционности. Какого они были размера и откуда брались?

Крикунова А.И.

Частицы были специально калиброванные, их размер составлял 3-4 микрона. Что позволяло им достаточно хорошо следовать потоку.

Председатель

А форма их? Вы их фотографировали?

Крикунова А.И.

Нет. Но мы использовали частицы, калиброванные и сертифицированные фирмой LaVision. Они сферической формы, если не объединяются в кластеры.

Председатель

Хорошо. Так, Олег Арсеньевич, следующий вопрос.

Синкевич О.А.

Скажите, пожалуйста, когда капсула падает в пламени возбуждаются колебания и они могут отражаться от стенок камеры, насколько это влияет? Всё же это не свободное пространство.

Крикунова А.И.

Когда происходит падение капсулы в пламени наоборот нет низкочастотных колебаний, а присутствующие высокочастотные колебания не отличаются от колебаний в условиях нормальной земной гравитации, поскольку возникают из-за пульсаций скорости в потоке при высоких числах Рейнольдса. В условиях нормальной гравитации эксперименты проводились не в капсуле, а на открытом пространстве, это подтверждает тот факт, что стенки капсулы не являлись причиной возникновения высокочастотных колебаний. Также стоит отметить, что размер горелки (диаметр выходного отверстия составлял 15 мм) был значительно меньше размеров капсулы (1 метр) и на таком расстоянии не могло возникать влияние стенок.

Председатель

Еще, пожалуйста, вопросы, Лев Николаевич.

Пятницкий Л.Н.

Вы исследуете колебания и неустойчивости пламени в разных условиях, но я, видимо, пропустил информацию о том, какие механизмы вы при этом исследуете?

Крикунова А.И.

Механизм, посредством которого возникают колебания в пламени - это сдвиговая неустойчивость Кельвина-Гельмгольца на границе между горячими продуктами сгорания и холодной окружающей средой и плюс ещё конвективная неустойчивость (конвективное продвижение вихрей вверх).

Пятницкий Л.Н.

А вы знакомы с работами Ланды, которая занимался этими вопросами? Я понимаю, что условия у вас разные, но вы практически заменяете задачу изучения колебаний и неустойчивостей проблемой гравитации.

Синкевич О.А.

Но она же считает все совместно, в программе.

Крикунова А.И.

Я рассматриваю не все неустойчивости и колебания, которые возникают в пламени, а именно низкочастотные колебания, которые возникают из-за сдвиговой неустойчивости и конвективной неустойчивости.

Пятницкий Л.Н.

Ну это абстрактные понятия. Конкретный механизм какой? Физический механизм какой?

Синкевич О.А.

Сдвиг скоростей.

Пятницкий Л.Н.

Это все условиях, а физический механизм какой?

Крикунова А.И.

Физический механизм это разность скоростей между покоящимся окружающим воздухом и движущимися продуктами сгорания и вследствие чего возникает неустойчивость на границе.

Пятницкий Л.Н.

За счет чего возникает? Ну ладно.

Красильников А.В.

У меня такой вопрос: как высчитаете, когда эксперименты проводились, наблюдалось ли детонационное горение?

Крикунова А.И.

Нет, детонационное горение не наблюдалось. Там происходило медленное горение, распространение фронта пламени.

Красильников А.В.

А физика пульсаций у вас какая, пульсации пламени из-за чего возникают, из-за чего пульсирует пламя?

Крикунова А.И.

Ну, вот смотрите, в условиях микрогравитации оно наоборот не пульсирует, при низких скоростях. При высоких — начинает фронт пламени пульсировать из-за того что в потоке (как раз таки измерено в изотермической струе термоанемометром) возникают среднеквадратичные отклонения скорости. Вот что приводит к высокочастотным колебаниям. В условиях микрогравитации низкочастотных колебаний нет, что показано на этом графике. Давайте я сейчас покажу расчетный график там нагляднее будет. Вот показано, что нет колебаний, а здесь вот возникают осцилляции низкочастотные гармонические. А из-за чего они возникают: смотрите, на границе раздела (черным показана изолиния плотности) можно наблюдать формирование и продвижение вихря в

различные моменты времени. Из-за чего это происходит? Поток подается с некой начальной скоростью и у продуктов сгорания также есть скорость, а окружающий воздух покоится и на границе между ними возникает сдвиговая неустойчивость, как и в обычной изотермической затопленной струе. Однако, поскольку еще и несколько изменяется его температура, и плотность (представлено на слайде с результатами расчетов полей плотностей), то получается что несколько более теплый вихрь по сравнению с температурой окружающего воздуха, поэтому в гравитационном поле Земли из-за естественной конвекции происходит продвижение этого вихря вверх. Он продвигается и соответственно граница колеблется, то что мы и видим. При этом он меняет поле давлений и по мере его продвижений вдоль факела возникает влияние на фронт пламени. Вот на графике фронт представлен красным цветом, поскольку здесь максимальная скорость в потоке. Таким образом возникают осцилляции которые мы и наблюдаем. Также это доказывается графиком профилей температур, которые я показывала в различные моменты времени, и соответственно различные положения вот этого вот вихря, который виден на поле скоростей. Видим, что координата максимума температуры, т.е. положение фронта пламени меняется, чем показано это влияние.

Председатель

Следующий вопрос. Олег Арсеньевич, пожалуйста.

Синкевич О.А.

Скажите, пожалуйста, если мы посмотрим, когда у вас падает капсула и горит пламя, то там сила тяжести не всегда перпендикулярна поверхности раздела. Если мы возьмем обычную неустойчивость Кельвина-Гельмгольца в плоском слое когда есть течение в горизонтальном направлении, то там, вообще говоря, на сдвиговую накладывается гравитационная (конвективная) неустойчивость. У вас же, если возьмем фронт пламени, то касательная составляющая скорости имеет некий угол

Крикунова А.И.

Вы имеете в виду вот эту вот зависимость, которая у меня получилась, я правильно поняла вопрос? Ну вот смотрите эта зависимость у нас получилась по чисто экспериментальным данным. Зависимость же частоты мерцания от высоты пламени получили при помощи аппроксимации. Но я рассматривала что вихрь движется в вертикальном направлении без отклонений. То есть в работе не учитывалось что есть некий угол между направлением движения вихря и вертикалью.

Синкевич О.А.

Я понял Ваш ответ спасибо.

Председатель

ВодородТак, Олег Сергеевич пожалуйста вопрос.

Попель О.С.

Вы провели довольно большой объем исследований разных, можете ли вы предложить некие практически значимые обобщения, как все эти результаты можно использовать на практике. В частности Вы упоминаете МКС. Практические результаты можно получить исходя из ваших расчётно-теоретических исследований?

Крикунова А.И.

Ну я думаю один из важнейших полученных результатов это измеренная скорость распространения фронта пламени в стехиометрической смеси в условиях микрогравитации. Она не такая как в обычной гравитации. То есть при расчетах

поведение пламени в условиях микрогравитации на МКС, мы будем понимать что распространение пламени происходит с более низкой скоростью. Это во-первых, а во-вторых, получены зависимости частоты пульсации пламени от коэффициента избытка топлива и гравитационных сил. А это может быть использовано при оценке поведения пламени в двигателях внутреннего сгорания с медленным горением, например в спутниках, для корректировки ориентации. При различной ориентации спутника и его скоростях будут возникать различные гравитационные условия, и соответственно при этом можно предсказать частоту мерцания пламени, что может являться предвестником погасания пламени. Это наверное 2 основных пункта.

Попель О.С.

А от типа топлива это зависит? Метан вряд ли в космосе, так сказать, используется, там же либо твёрдое горючее либо ещё что-то. Водород...

Крикунова А.И.

Сама частота зависит, а вот зависимость, я думаю, что в общем будет такая же. В общем, тенденция будет схожей. В принципе на метане Союз 7 или 8 делают.

Аминов Р.З.

Анастасия Игоревна, вот вы сказали, что у вас горение в сопле происходит. Это оговорка или оно на выходе из сопла горит?

Крикунова А.И.

Нет я домой оговорка. Потому что пламя, если посмотрим на видео, сейчас я покажу, пламя горит всё-таки над соплом, внутрь оно не проходит. Вот край сопла, и горение происходит на нем.

Аминов Р.З.

Я понял. И второй вопрос. Скорость горения Вы связываете со скоростью продвижения топлива или фронта?

Крикунова А.И.

Скорость горения, эта фраза написана вот там на слайде, а я говорила скорость распространения фронта пламени по смеси.

Аминов Р.З.

А вы вот можете перейти от этого понятия, скорости горения, ко времени горения, продолжительности горения?

Крикунова А.И.

Вы имеете в виду пребывание горючей смеси во фронте?

Аминов Р.З.

Да это очень сложный процесс, он проходит через промежуточные состояния.

Крикунова А.И.

Ну да там много реакции проходит...

Аминов Р.З.

И вот время горения у вас как-то можно оценить?

Крикунова А.И.

То есть от времени горения, что мы в итоге получаем — толщину фронта пламени, вы это имеете в виду?

Аминов Р.З.

Время за которое, допустим, окислится водород, или ещё что-то.

Крикунова А.И.

Но время полного окисления зависит от объёма горючего?

В принципе можно из изображений естественного свечения — хемилюминесценции пламени, получить данные о толщине фронта пламени. Поскольку, съёмка производилась с достаточно высоким разрешением, т.е. область видения была 20х20 мм.

Аминов Р.З.

Ещё один вопрос: а проскок пламени он способствует внутреннему горению? И у вас возрастают скорости сразу, в этом случае, потому что возрастает температура и появляется реактивная тяга. Это как-то могло повлиять?

Крикунова А.И.

Нет, вот смотрите, мы исследовали проскок у нас пламени следующим образом, мы фиксировали коэффициент избытка топлива смеси, то есть отношения горючего и окислителя, и смотрели при какой скорости потока в этой смеси наступит проскок унос пламени. Дальше что происходило мы не смотрели. Мы определяли когда пламя не горит в нормальном режиме. В условиях нормальный гравитации, с уменьшением скорости потока, пламя уменьшится и меньше, Затем она становится плоским. После чего несколько прогибается минуты А затем проскакивает Вот эти моменты мы определяли то есть условия при которых происходит нормальный ударение Без ускорения и так далее

Председатель

Есть предложение закончить вопросы. Слово предоставляется руководителю, Анастасия Игоревна, можете присесть, Эдуарду Евгеньевичу Сону.

Сон Э.Е.

Уважаемый Алексей Юрьевич, уважаемые члены ученого совета, сегодня на Ваше суждение представлена диссертации Крикуновой Анастасии Игоревны. Я не хотел бы вдаваться в научную сторону, хочу только сказать откуда эта задача возникла. Задача эта возникла не на пустом месте, это результат работы многих ученых. Вся ракетная промышленность начиналась практически с НИИ-1, группа ГИР, которая там была создана и Щетинков Евгений Сергеевич стоял у истоков. Если Вы сейчас посмотрите книгу Физика горения газов, то работа Щетинкова она самая выдающаяся, по-видимому. Поэтому у нас на кафедре это МФТИ и НИИ-1 это два места откуда вся работа началась. Щетинков был первым профессором у нас на кафедре, он создавал нашу кафедру, потом Виталий Михайлович Ивлев и в результате то, что сейчас продается американцам РД-180 это результат работы именно этих людей, Одолевский и так далее. Тогда возникло второе поколение ученых которых, может, вы знаете это Сабельников Володя, Зимонт, один из которых работает во Франции, второй работает в Италии, в космическом агентстве. И вот тогда уже возникла проблема о том, что турбулентное горение это проблема, как говорится столетия и сейчас вопрос состоит в том что до сих пор проблема сверхзвукового горения не решена. Над этим бьются все, потому что тот кто сделает гиперзвуковая горение, тот и добьется успехов. На сегодняшний день самый лучший аппарат летающий на углеродном топливе это американская X51, которая делалась на базе Ray Peterson. Но случайно или нет, но в это время, в 2008 году, когда работа была в

основном закончена, мы, с нашей группой сотрудников, в том числе и из “ивтана”, работали на этой базе и много изучали вопросов в том числе и турбулентного горения. И тогда, возникла идея, что проблема турбулентного горения состоит в том, что явление очень сложное, оно сразу сочетает в себе много вопросов. С горением имеет дело каждая хозяйка на кухне, которая зажигает газ, у вас идёт метан и смешивается с кислородом (с воздухом) и горит. Смешение - это первая проблема, вторая - это условие присутствия гравитации, потому что есть гравитация, мы не можем построить модель турбулентного горения. Поэтому, чтобы решить первую проблему, было решено использовать смесь (перемешанное топливо с окислителем), когда сразу кислород и метан хорошо перемешивается, а потом уже начинается горение. Вторая проблема - это убрать гравитацию. Убрать ее можно было только в установках. Таких установок есть 3, типа установок, я имею в виду. Первый тип - это параболические полеты. Такие типы установок вы видите в кино, когда самолёт идёт по параболе и в течение нескольких, ну там, минуты примерно, может быть, больше, даже, люди находятся в невесомости. Вторая возможность это “падающие” башни, башни в которых создается микрогравитация, такие башни есть во всём мире, в каждой стране, в России они есть в ГРЦ им. Макеева, только что вернулись оттуда, но в ГРЦ им. Макеева это установка 10 м в диаметре около 90 м высоты она используется для отработки стыковок в космосе в первую очередь, а вот таких установок там где физические исследовались бы вопросы горение - нет. В мире такая установка не единственная, есть в Китае, есть в Америке и вот Бременском университете (Европейское космическое агентство имеет такую установку). Стоимость такой установки очень велика, это дело дорогое. Очередь на использование этой установки расписана на 5 лет, чтобы там произвести эксперимент. Но когда мы предложили руководителю таких работ, Майклу Дрейеру, поставить эксперименты по горению в условиях микрогравитации, откуда можно получить фундаментальные результаты, то решение было принято быстро и (немецкое) Европейское космическое агентство, немецкое отделение, DLR, они выделили грант Анастасии, чтобы она имела возможность проводить эту работу и оплатить сами эксперименты, это порядка миллиона евро и она провела эти эксперименты. Перед этим она в России посетила и работала в одной из лучших лабораторий по горению, лабораторию в Институте Теплофизики Сибирского отделения Российской академии наук, и вот результаты этих работ она здесь сегодня представила. Если говорить конкретно о Насе, то она поступила на “физтех” 10 лет назад: из них 4 года “бакалавриата”, 2 года магистратуры, 4 года аспирантуры, итого 10 лет обучения. К нам на кафедру она пришла на втором курсе, то есть мы знаем 9 лет, и прошла курс от “студента-магистранта”, аспиранта и сейчас уже сама является молодым преподавателем и преподаёт студентам. Она сама родом из Украины, Славянска здесь и родители ее присутствуют, отец работает на шахте, мать детский врач поэтому она далека, ее брат учится на физтехе, следует по ее стопам. То что получилось - вам судить, но я хочу сказать, что ее работа это маленький кирпичик во всей поставленной проблеме турбулентного горения. К сожалению, эту задачу, которая ставилась, а мы ставили задачу изучения турбулентного горения, решить пока не удалось, потому что числа Рейнольдса, которые необходимы для развитого турбулентного горения они выше исследуемых. Но то что удалось пройти ламинарный и переходный режимы, а переходная область является, как известно, наиболее сложной. Что касается механизма, я слушался вопросы, вопросы все являются правильными, вот Олег Арсеньевич задавал вопрос о неустойчивости Кельвина-Гельмгольца в гравитационном поле, она решена, она использована в этой задаче, просто в презентации были представлены интегральные графики. То что Лев Николаевич задавал вопросы, мы изучали все типы неустойчивости: неустойчивости гидродинамических мод, неустойчивости тепловых мод, акустических мод и их взаимодействия. Вот это всё достаточно подробно было изучено, а основным являлось экспериментальное подтверждение тех работ, которые уже были сделаны. Работа не окончена, в том смысле, что есть еще турбулентная область, есть другие установки, и мы

надеемся, что эти работы будут продолжены, в том числе и Анастасией. Вот всё, что я хотела сказать, спасибо.

Председатель

Спасибо, Эдуард Евгеньевич! Есть вопросы к Эдуарду Евгеньевичу?

Сон Э.Е.

Кстати, в 2018 году исполняется 50 лет нашей кафедре. Кафедра стояла у истоков всего горения. Сейчас лаборатория гиперзвуковой и плазменной аэродинамики. Все современные гиперзвуковые аппараты используются в этой лаборатории и стенд в ЦИАМе, г. Тураево, которые являются лучшими стендами в Европе. Т.е. мы использовали в этой работе самые лучшие результаты. Кроме того хотел сказать о выборе оппонентов: есть принцип Ивлева, мы все ученики Виталия Михайловича, я книгу сюда принес которую мы издали к его юбилею. Виталий Михайлович Ивлев, учитель наш, говорил о том, что если мы сделали хорошую работу, то ее должны рецензировать лучшие специалисты, вообще. Поэтому в этой работе ведущая организация ЦИАМ, это организация “номер один”, которая делает “гиперзвук”, именно она. Оппоненты здесь - Маркович Дмитрий Маркович, который создал лучшую в России экспериментальную лабораторию по горению и она многому там научилась в этой лаборатории. И второй оппонент - Черкасов Сергей Гелиевич, это настоящий специалист, главный научный сотрудник, начальник отдела по твердотопливным ракетным двигателям. Это та самая школа НИИ-1 из который, мы посчитали, целесообразным взять специалиста для рецензии этой работы. Спасибо.

Председатель

Спасибо, Эдуард Евгеньевич! Представляется слово ученому секретарю, Леониду Бенциановичу для оглашения заключения организации, где выполнена диссертация, это Московский физико-технический институт, и отзыва ведущей организации это ЦИАМ имени Баранова, и всех письменных отзывов, поступивших на автореферат. Пожалуйста.

Ученый секретарь.

С вашего позволения буду читать сидя. Значит, в заключении МФТИ отмечается, что в 2013 году Крикунова с отличием закончила “физтех” по специальности прикладные математика и физика, в 2017 окончила аспирантуру на “физтехе”. Далее отмечается актуальность темы диссертации (зачитывать не буду), цели и задачи, которые Анастасия обозначала в начале своего выступления. И основные результаты, которые, я думаю, стоит зачитать. Созданы лабораторные экспериментальные установки для измерения параметров ламинарного и переходного к турбулентному режимам горения. Создана экспериментальная установка для измерения параметров ламинарного и переходного к турбулентному режиму горения на стенде «Drop Tower» в лаборатории Центра прикладных космических технологий и микрогравитации. Впервые получены экспериментальные данные о ламинарном и переходном к турбулентному режиму горения в лабораторных условиях при нормальной гравитации и в условиях микрогравитации. Экспериментально показано, что изменение направления гравитации расширяет область стабильного пламени, и сужает область проскока пламени. Получены результаты по влиянию гравитационных сил на растяжение конического пламени. определены скорости ламинарного горения метано-воздушных смесей в условиях нормальной, «обратной» гравитации (когда скорость волны горения и вектора гравитации противоположно направлены) и микрогравитации. Определены частоты пульсаций пламени в условиях нормальной и «обратной» гравитации для широкого спектра вариации скорости потока и коэффициента избытка топлива смеси. Предложен критерий оценки зависимости частоты мерцания пламени предварительно перемешанной смеси от гравитационных сил и

коэффициента избытка топлива. Получены поля скоростей в пламени в условиях микрогравитации. Научная новизна работы заключается в том, что в работе получены уникальные данные о характеристиках метано-воздушного пламени, в условиях нормальной, «обратной» и микрогравитации. Далее отмечается практическая ценность работы, отмечается, что материал диссертации опубликованы автором достаточно полно и перечислены работы в которых они были опубликованы, личный вклад соискателя. И основные результаты работы докладывались на 8 конференциях, в том числе международных. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.02.05 по пунктам: пункт 3 – ламинарные и турбулентные течения, пункт 8 – физико-химическая гидромеханика, пункт 13 – гидродинамическая устойчивость, пункт 17 – экспериментальные методы исследования динамических процессов в жидкостях и газах. Рекомендация по защите диссертации по специальности механика жидкости газа и плазмы. Заключение принято на заседании кафедры физической механики МФТИ, принято единогласно. Заключение подписано заведующим кафедрой, академиком Соном Эдуардом Евгеньевичем и утверждено проректором по исследованиям и разработкам МФТИ Гаричевым Сергеем Николаевичем.

Отзыв ведущей организации. В качестве ведущей организации был выбран ЦИАМ имени Баранова. Значит, в отзыве отмечается объем и структура работы, кратко перечислено содержание всех четырех глав. Отмечается актуальность темы диссертации: большое количество современных работ посвящено решению вопроса о моделировании реагирующих турбулентных потоков, однако он все еще остается открытым. Создаваемые расчетные модели требуют верификации, следовательно, получение экспериментальных данных современными диагностическими методами является важной и актуальной на сегодняшний день задачей. Получение закономерностей горения в условиях микрогравитации и «обратной» гравитации является важным для многих энергосиловых установок наземного и космического применения. Научная новизна работы: экспериментальные данные о пределах проскока и уноса пламени и их изменении при переориентации горелочного устройства относительно направления вектора гравитации; экспериментальные данные о скорости распространения фронта горения в метано-воздушной смеси в условиях нормальной, «обратной» и микрогравитации; зависимость частоты мерцания фронта пламени от коэффициента избытка топлива смеси. Отмечается достоверность результатов работы, практическая значимость и дальше замечания, которые я полностью зачитаю. 1 замечание: в диссертации следовало бы более детально раскрыть роль и место диссертационной работы среди большого числа ранее проведенных исследований. Требуется сделать акцент на поставленных в диссертационном исследовании цели и задачах работы, а также научной новизне, которая, безусловно, присутствует в рассматриваемом материале. 2 замечание: представленные в диссертации экспериментальные данные следовало бы более детально проанализировать с точки зрения фундаментальных процессов, сопровождающих горение метана в условиях «нормальной» гравитации и микрогравитации. Целесообразным является больше внимания уделить аналитическим и эмпирическим закономерностям, которые представляют практическую значимость работы, а, в частности: условиям срыва пламени и зависимости частоты пульсаций от режима течения и горения. По полученным экспериментальным данным представляется возможным установить зависимости и ввести безразмерные критерии для определения эффективности стабилизирующих колец, что важно для практического применения результатов. Для дальнейших исследований требуется провести детальный спектральный анализ пульсаций фронта пламени при различных режимах, а также оценить степень влияния естественной конвекции и сдвиговых напряжений при вихреобразовании в периферийной области факела. 3 замечание: в диссертации мало внимания уделено технологическим схемам лабораторных установок и метрологическим особенностям измерений параметров в экспериментах, что является важным для подтверждения достоверности полученных данных. Вследствие

этого, по ряду параметров на диаграммах отсутствуют доверительные интервалы экспериментальных данных. 4 замечание: в расчетной части работы представлены упрощенные кинетические модели для расчета горения в воздушном потоке (на основе брутто-реакции), которые не позволяют с высокой точностью определить скорость распространения фронта пламени. Кроме того, представленные автором результаты моделирования вихреобразования в затопленной струе на выходе из сопловой части лабораторной установки выполнены без учета теплоподвода при горении, что может являться причиной некоторого расхождения расчетных и экспериментальных данных по частотам пульсаций факела. 5 замечание: в тексте диссертации и автореферате допущены терминологические неточности, которые могут быть легко устранены в дальнейшей работе. Далее отмечается апробация, публикации, личный вклад и заключение. Диссертационная работа была заслушана на НТС отдела аэрокосмических двигателей ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова 29 ноября 2017 года. Диссертация «Колебания и неустойчивости горения предварительно перемешанной смеси в условиях микрогравитации» представляет собой законченный научный труд, который соответствует всем критериям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней №842, а его автор Крикунова Анастасия Игоревна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы». Заключение подписано заместителем начальника отдела аэрокосмических двигателей по научному направлению кандидатом технических наук Александровым, утверждено заместителем генерального директора — директором исследовательского центра «Аэрокосмические двигатели и химмотология» Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова» Прохоровым.

На автореферат поступило всего 7 отзывов.

(Первый отзыв) Отзыв профессора Исаева Сергея Александровича, «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации». Отзыв положительный, с замечаниями: следовало четче и конкретнее показать научную новизну. Мало выводов и много деклараций о проведенных работах. Научная проблема выглядит размытой. Хотелось четче обозначить и обосновать «болевые точки» исследования; хотелось бы увидеть описания методологии и получения результатов численных расчетов с использованием пакета FlowVision, а также обоснования его выбора.

(Второй отзыв) Отзыв от доцента, к.х.н., Лесбаева Бахытжана Тастановича Отзыв положительный, с замечаниями: желательно было бы провести сравнительный анализ состава продуктов горения при нормальной гравитации и микрогравитации. Эти данные были бы полезны для выявления отличительных черт механизмов горения и полноты сгорания топлива в условиях микрогравитации.

(Третий отзыв) Третий отзыв: от старшего научного сотрудника, к.ф.-м.н., Корабельникова Алексея Васильевича, утвержден генеральным директором – главным конструктором ОАО «НИПГС», д.ф.-м.н. Курановым. Отзыв положительный, с замечаниями: в пункте 2 выводов по результатам работы следовало бы показать в явном виде влияние различных видов гравитации на величину скорости ламинарного горения метано-воздушного пламени, а в пункте 5 пояснить, в чем уникальность полученных фотографий флуоресценции радикалов ОН в условиях микрогравитации; из текста автореферата не ясно, были ли обнаружены в качестве причин изменения скорости горения топлива изменения на уровне скорости реакции горения, как химической кинетики, так и диффузионных процессов, которые можно было бы экспериментально зафиксировать как размытие слоев наблюдаемых частиц в пламени; из текста автореферата не ясно, на чем основан физический принцип стабилизации с помощью вихреобразующего тела – кольца, применяемого для расширения области стабильного пламени по скоростям и коэффициентам избытка топлива. Автор отмечает, что такой метод стабилизации, в отличие от внешней закрутки потока, использования

стабилизирующих тел, таких как проволока, цилиндр, диск, использования пилотного пламени или плазменной стабилизации, не влияет на температурные и скоростные характеристики потока, не вносит изменений в состав продуктов сгорания и не изменяет форму пламени.

(Четвертый отзыв) Отзыв от доктора физ.-мат. Наук, доктора технических наук, профессора Волова Вячеслав Теодоровича, «Самарский государственный университет путей сообщения». отзыв положительный, с замечаниями: в работе не отражены вопросы влияния начальных условий на процессы горения; некоторая «размытость» выводов, полученных в результате исследований; имеется ряд несущественных замечаний, например, в поле актуальности диссертант пишет, что «мировой парк транспортных средств, работающих на метане, ежегодно возрастает на 25-30%, и по прогнозам к 2020 г. будет достигать 50 млн. единиц», учитывая, что работа посвящена теории горения, указанные ссылки не являются обязательными.

(Пятый отзыв) Отзыв первого заместителя начальника КБ-1 Молчанова, главного конструктора по боевым ракетным комплексам, д.ф.-м.н. Хлыбова, главного ученого секретаря, к.т.н. Калашникова АО «ГРЦ Макеева». Отзыв положительный, с замечаниями: в работе показана возможность получения изображений флуоресценции радикалов ОН в условиях микрогравитации при экспериментах на вакуумно-динамическом стенде «Drop tower», однако, кроме динамики фронта горения не получены такие характеристики пламени, как распределение температур и плотностей. Такие данные позволили бы значительно углубить понимание влияния гравитационных сил на процессы горения; в работе уделено недостаточно внимания анализу погрешностей измерения; недостаточно подробно описана методика проведения расчетов с использованием программного пакета FlowVision.

(Шестой отзыв) Отзыв от Губернова д.ф.-м.н., ФИАН - отзыв положительный, без замечаний.

(Седьмой отзыв) И последний отзыв, «Казанский федеральный университет», заведующий кафедрой технической физики и энергетики, д.т.н., доцент Кашапов Наиль Фаикович. Отзыв положительный, с замечаниями: цель работы сформулирована не лаконично и выглядит несколько расплывчато. Обилие информации создает впечатление, что это аннотация выполненного исследования. Все.

Председатель

Спасибо, Леонид Бенцианович. Слово предоставляется Анастасие Игоревне. Просьба, в связи с тем, что вопросов много лаконичные ответы давать.

Крикунова А.И.

Хорошо. Мне разделять по очереди, да?

Председатель

Лучше начните с ведущей организации. На автореферат потом, потому что много ответов будет содержаться в отзыве на замечания ведущей организации.

Крикунова А.И.

Замечания ведущей организации. Первое, на счёт того, что можно было более детально раскрыть роль и место диссертационной работы среди других и сделать акцент на поставленных задачах. В принципе мы постарались наиболее полно описать исследования, которые проводились и целью было, в общем-то, систематизация..... получение систематических знаний о характеристиках пламени в условиях “обратной”, “нормальной” и микрогравитации. Тогда как, такие данные, отдельные экспериментальные данные, экспериментальные точки, были получены в различных работах. А у нас было целью обобщение всего этого. Но в общем-то, наверное, я согласна

с этим замечанием.

Представленные в диссертации экспериментальные данные следовало бы более детально проанализировать с точки зрения фундаментальных процессов, больше внимания уделить аналитическим и эмпирическим закономерностям по-поводу срывов. Основной фундаментальной характеристикой процессов горения предварительно перемешанных смесей является скорость распространения фронта горения, которая была получена. Это наиболее фундаментальная характеристика. На счёт аналитических закономерностей по срывам и уносам пламени для каких-либо применений, то задача состояла в фундаментальных исследованиях, а для вывода эмпирических закономерностей, которые можно было бы использовать по срывам и уносам, это больше касается технической работы и для этого необходимо было бы исследовать различные сопла, различных начальных и конечных диаметров, а это не стояло в поставленной задаче.

Далее. Мало внимания уделено технологическим схемам лабораторных установок, метрологическим особенностям измерений. В самой диссертации... описано большое количество работ, может, можно было ещё более полно их описать, но поскольку объем диссертации ограничен, то мы постарались несколько сжать эту информацию. Следующее замечание: представлена упрощённая кинетическая модель для расчёта, которая не позволяет с высокой точностью определить скорость распространения фронта пламени. Ну, собственно говоря, результаты расчётов я не представляю, как скорость распространения фронта пламени. В расчётах были получены частоты мерцания пламени, наглядно мы показали механизм влияния гравитационных сил на низкочастотные осцилляции, но не считали скорость распространения фронта пламени, потому что для этого необходимо было использовать полную кинетическую схему горения метана, что заняло бы значительно больше времени. Но в общем-то моя работа больше посвящена экспериментальным исследованиям, а расчеты были проведены только для того чтобы как-то обобщить и подытожить экспериментальные результаты. Так... в тексте диссертации и автореферата допущены терминологические неточности. Ну..., может, есть некоторые жаргонные выражения, однако, я старалась их заключить в кавычки, как то: “условия обратной гравитации”, которое в русской литературе, даже, не встречается. Вот это, что насчёт замечаний из ведущей организации. Теперь замечания оппонента Черкасова Сергея Гелиевича.

Председатель:

Нет еще не выступал оппонент.

Крикунова А.И.

А... ой тогда извините... Ответы на замечания на автореферат. Насчёт замечаний Исаева из Университета гражданской авиации: конкретнее показать научную новизну. Ну..., может необходимо было более сухо и лаконично это изложить. Я в принципе согласна с этим замечанием. Описание методологии получения численных результатов. Опять же повторяюсь, что работа всё же была экспериментальная, а расчёт сделала я сама, но насчёт верификаций модели и использования FlowVision, это содержится в результатах работ коллег нашего коллектива и результаты расчетов я всё-таки не выношу на защиту, т.к. про это написано в работах других людей. Это не моя заслуга. Следующий из Института проблем горения: желательно было провести анализ продуктов сгорания в условиях микрогравитации. К сожалению это было трудно выполнимой задачей в условиях микрогравитации в капсуле. Поскольку она была очень ограниченного объема и она и так полностью была заполнена различными экспериментальными диагностиками. Т.е. это во-первых не представлялось возможным, во-вторых это не стояло в наших задачах, это не представляло фундаментальных интересов для наших исследований. Следующий отзыв Корабельникова, утвержден Курановым из ОАО “НИПГС”. В пункте 2 выводов по

результатам работы следовало бы показать в явном виде влияние различных видов гравитации на скорость распространения фронта пламени. Собственно говоря да, я согласна. Насчёт уникальности изображений, они как раз представлены на данном слайде, флуоресценции радикалов ОН. Они получены в таких условиях впервые, в этом и состоит уникальность, поскольку это сложная научно-техническая задача, которая была разрешена. Из текста автореферата не ясно, были ли обнаружены в качестве причин изменения скорости горения топлива изменения на уровне скорости реакции горения, как химической кинетики, так и диффузионных процессов. Изменение скорости горения происходило из-за влияния гидродинамики. В химической кинетики происходили ли из-за этого изменения...? В работе это не показано, но в общем-то предполагается что нет. Диффузионные процессы не наблюдались, поскольку пламя было хорошо перемешанным и не наблюдалось никаких расслоения веществ отделения окислителя от горючего, соответственно ничего такого не наблюдалось.

Синкевич О.А.

Не пламя перемешанное, а смесь горючего и окислителя.

Крикунова А.И.

Ай... да, конечно, пламя перемешанной смеси, оговорилась, извините! Так, из Самарского университета от Волова: в работе не отражены вопросы влияния начальных условий на процессы горения. О том что исследования проводилось при комнатной температуре и атмосферном давлении, никакого влияния начальных условий на процессы горения не было и поэтому это не отражалось. Теперь, некоторая «размытость» выводов, полученных в результате исследований. Выводы, они отражают все положения, выносимые на защиту, ну... может быть согласна. Имеется ряд несущественных замечаний, например, учитывая, что работа посвящена теории горения, указанные ссылки не являются обязательными. Ну в принципе согласна, просто я, как можно более широко старалась описать актуальность работы со всех сторон. Пятый отзыв из ГРЦ им Макеева: в работе показана возможность получения изображений флуоресценции радикалов ОН, однако не ясно, что из них получено в общем. Ответ на этот вопрос дан в презентации. На основе изображений получена динамика фронта пламени, а такие данные, как распределения температуры и плотностей, к сожалению, возможность получить отсюда, потому что изображения достаточно низкого качества. Однако, стоит отметить, что они получены впервые и в дальнейшей работе может быть улучшено качество. Но результаты из них, это динамика фронта пламени, она получена. Следующее: в работе уделено недостаточно внимания анализу погрешностей измерений. Все измерения были произведены стандартными методами и практически все погрешности представлены на графиках, может, на одном-двух нет. Недостаточно подробно описана методика проведения расчетов. Замечание уже такое было и я на него уже ответила. И последние: цель работы сформулирована не лаконично и выглядит несколько расплывчато. Ну в принципе согласна, может, быть следующий раз будет по-лаконичнее.

Председатель

Спасибо, Анастасия Игоревна. Значит, в соответствии с нашим регламентом повестки движемся дальше и переходим к выступлению оппонентов. Слово предоставляется официальному оппоненту член-корреспонденту Российской Академии Наук, профессору, доктору физико-математических наук, Марковичу Дмитрию Марковичу, Институт Теплофизики им. Кутателадзе Российской Академии Наук.

Маркович Д.М.

Добрый день Уважаемые коллеги, уважаемый Алексей Юрьевич! Мне очень

приятно выступать на заседании совета в качестве оппонента по такой работе. Меня уже Эдуард Евгеньевич представил, я действительно наблюдал как в наш институт приезжала Анастасия Игоревна, проводила эксперименты. Тема действительно актуальна она далеко не решена, эта задача, я не буду подробно останавливаться на актуальности. В чём мне кажется важность этой работы - это один из, действительно, кирпичиков которые, позволяют в очень сложном процессе (в очень сложном явлении) посмотреть на это явление с рафинированной точки зрения, с отсечением определённого количества граничных условий и параметров. В данном случае этим является гравитация, и таких работ в общем немного. Я был сам свидетелем того, как Эдуард Евгеньевич разговаривал с профессором Дреером, осенью 2013 года, в городе Бремене, на верхушке вот этой башни, там проходила конференция. И действительно, тогда Эдуард Евгеньевич поставил вопрос о необходимости проведения таких экспериментов, и нужно сказать, что правда очередь на эти эксперименты очень большая - 5 лет, но наши коллеги нашли возможность укоротить это время, может быть существенно сильно, потому что в качестве основной ударной силы планировалась Анастасия Игоревна. И эксперименты состоялись. Я не буду зачитывать констатирующую часть своего отзыва зачитывать, здесь уже всё прозвучало. Я с большим интересом читала работу. Не упоминалось подробно здесь, но я должен сказать, что первая глава это обзор работ, он выглядит очень основательно, я бы сказал, и поскольку работа квалификационная, ученый совет должен и это принимать во внимание. Анастасия Игоревна существенно большой пласт работ выполнила по изучению механизмов горения, изучению различных видов неустойчивости которые, проявляются в этой системе. На самом деле, что такое разные виды неустойчивости? В обзоре описывается и гидродинамическая, и диффузионная, и Рейлей-Тейлоровская неустойчивость, и, упоминаемая здесь - Кельвина-Гельмгольца. Это, в общем говоря, разные стороны проявления одной и той же физической реальности, только в таком вот выделенном виде. Процесс сам по себе сложный. Подходы к моделированию к анализу неустойчивости помогают нам те или иные стороны этого сложного явления оценить и изучить. Но у меня будет там небольшое замечание по-поводу, может быть, полноты этого обзора. Ну информации здесь и на докторскую диссертацию, то там еще более серьезный, думаю, будет сделан обзор, потому что тема необъятная работ очень много... но чувствуется, что в анализе, в том числе неустойчивости, красной нитью проходит та школа, из которой выросла Анастасия Игоревна, но тем не менее очень большое количество и других работ упомянуто. Отдельно я бы хотел сказать о том, что мне, как экспериментатору, очень было приятно увидеть и ознакомиться с результатами экспериментов которые проведены, в очень сложных условиях микрогравитации, впадающей башне, с применением методики РТВ и лазерной индуцированной флуоресценции радикалов “оаш” или “оэйч”, как правильно говорит соискательница, а я по-простецки, обычно употребляю. Есть там еще ряд замечаний, которые я не стал включать. В частности метод основанный на подходе РТВ т.е. анализ треков без освещения лазерной вспышкой, он конечно же, немного большую погрешность содержит. Почему? Потому что время экспозиции одного кадра, когда мы просто фиксируем прохождение частички трека, она существенно больше чем, например, время при лазерном освещении, когда длительность импульса 10 наносекунд и образ частицы оказывается замороженным и там погрешность уменьшается. Здесь погрешность больше, но поверьте мне, в таких сложных условиях и это уже великое дело и очень значимый эксперимент. Я, наверное, не буду долго останавливаться на изложение своих положительных впечатлений, перейду к замечаниям, их немного, они основном носят технический характер и я думаю, что не составит труда сформулировать на них ответы. Первое - совсем техническое, уже это замечание упоминалось, что жаргонные некорректные выражения встречаются в диссертации, иногда в кавычках иногда не в кавычках и “обратная гравитация” и “молекулярное перемешивание”, “устройства горения” и так далее... Поверьте мне, ну и вы все видели много диссертации где таких

неточностей и ошибки гораздо больше, здесь в общем-то должен отметить, что можно оценить на четверку с двумя плюсами, в этой части, работу, а вообще работа безусловно на пятёрку. Еще одно техническое замечание: часть ссылок в списке литературы не содержит полных выходных данных. В списке условных обозначений не приведены выражения для ряда безразмерных критериев, что затрудняет некоторым образом знакомство с материалом. Поскольку в тексте упоминание тех или иных критериев имеет место определения в следующих разделах, ну и так далее... Третье замечание, она по-сути изложение и интерпретация результатов и обзора я бы его сформулировал так (сейчас дословно зачитаю): при весьма подробном рассмотрении в диссертации различных неустойчивости, имеющих место в пламенах, и анализе большого количества литературных источников, посвященных данному вопросу, автору, возможно, следовало бы провести более четкую классификацию. Так, отнесение неустойчивости, индуцированной силами плавучести, к неустойчивости Кельвина-Гельмгольца, представляется неочевидным, несмотря на упоминание в некоторых работах. Часто неустойчивость в струях, связанная с уменьшением плотности, рассматривается как в абсолютная неустойчивость к осесимметричной глобальной моде, что проявляется в возникновении автоколебаний. Взгляды различных авторов на эти механизмы и соответствующая терминология зачастую разнятся. Весьма сжато в работе описаны, либо вообще не описаны подходы, использованные для моделирования реагирующего течения: модель турбулентности, модель радиационного переноса. По модели химического реагирования упомянута одна брутто-реакция, причем, не понятно что это за реакция. Отсутствует информация по верификации используемой модели. Ну и последнее замечание: результаты экспериментов по флуоресценции радикалов "оаш" в условиях микрогравитации являются безусловно уникальными, однако, на основании этих результатов не сформулированы выводы, кроме самого факта их получения. Подчеркну, что сам факт их получение является безусловным тоже очень важным результатом, но здесь в качестве пожелания на будущее также имеется такое замечание. Ну и зачитаю заключение. Диссертационная работа А.И. Крикуновой выполнена на высоком современном научном уровне. Вышеизложенные замечания не снижают ценности научного вклада исследований в развитие теории процессов горения. Основные результаты диссертации изложены в 12 публикациях (4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, 8 в тезисах и трудах конференций), они докладывались и обсуждались на международных и российских научных конференциях. Автореферат в полной мере отражает основное содержание диссертации. Диссертационная работа представляет собой законченный научный труд. Результаты выполненных исследований хорошо структурированы и изложены в логичном порядке. Тема и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы. Считаю, что диссертационная работа соответствует требованиям (п. 9) «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор Анастасия Игоревна Крикунова заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы. Спасибо.

Председатель

Спасибо, спасибо, Дмитрий Маркович! Есть ли вопросы к официальному оппоненту? Вопросов нет. Ещё раз спасибо за такой обстоятельный отзыв. Слово предоставляется Анастасии Игоревне для ответа на прозвучавшие замечания. Просьба лаконично.

Крикунова А.И.

Я постараюсь как можно короче. На счёт жаргонных выражений: да, они есть, я

согласна, буду стараться как можно меньше их использовать. Что касается списка литературы, я его не сама делала, я использовал программу JabRef. Может есть некие неточности, там более 150 пунктов в списке литературы, поэтому я могла что-то не досмотреть, да, согласна. Насчёт большей структуризации типов неустойчивости, Дмитрий Маркович уже сказал, что взгляды различных авторов не согласуются зачастую... Хорошо, в дальнейшей работе я учу то, что стоит это лучше структурировать и собирать взгляды всех авторов по теме данной работы. Насчёт подходов моделирования я тоже уже ответила, что главной задачей являлись экспериментальные исследования и моделирование было очень сжато описано. Результаты экспериментов по радикалам “оаш”, опять же, как я уже ответила в презентации, полученна динамика фронта пламени, а какие-либо другие количественные характеристики, может быть, в дальнейшей работе удастся получить в таких условиях. Спасибо.

Кобзев Г.А.

А по-русски по-русски говорят «оаш», а не «оэйч» (*смеется*).

Попель О.А.

Это замечание может повлиять на судьбу экспериментатора (*смеется*).

Председатель

Спасибо! Переходим к следующему оппоненту. Слово предоставляется официальному оппоненту, доктору физико-математических наук Черкасову Сергею Гелиевичу, Исследовательский центр имени Келдыша.

Черкасов С.Г.

Я постараюсь покороче, я уже вижу, что все устали. Сразу скажу, что у меня отзыв положительный, сугубо, и я больше точки зрения формальных требований пройду. Очень много полученных результатов интересных в этой работе. Ну, конечно, изюминка это эксперимент при микрогравитации. Что это за эксперименты... вы понимаете, капсула падает 4,7 секунды, она сказала. Но если бы вы обратили внимание на показатели, которые показывает датчик ускорения, Вы бы увидели, что первая треть этого времени уходит на то, чтобы затухли начальные возмущения.

Батенин

Так про них сегодня спрашивали.

Черкасов С.Г.

Это вы спрашивали немножко не про те... Я имею в виду возмущения, связанные с переходом от неподвижного в состоянии к падению, эти вот механические возмущения.

Батенин

Но там же есть и поле скоростей, уже установившиеся.

Черкасов С.Г.

Есть, но всё равно это возмущаются самим моментом. Он вносит возмущения и на все эксперименты остаётся на самом деле 3 секунды. Вообще, я сам не экспериментатор, но перед такими экспериментами хочется мысленно снять шляпу, а когда узнаешь, что их проделала аспирантка тут это вызывает смесь уважения и удивления, в основном. И прямо вот слова Некрасова лезут в голову: “Есть еще женщины в русских селеньях...”. Я считаю, что по-поводу формальных требований тут обсуждать особо ничего, то тут они очевидны. Но вот, что неочевидно это на самом деле, область практических приложений. Упоминались двигатели ракетные жидкостные, как сотрудник центра Келдыша, я просто

обязан сказать несколько слов. Метан давно рассматривается в качестве перспективного ракетного горючего и проработки, даже, некоторые были, но сейчас таких двигателей пока что нет, но я думаю что они позже будут обязательно. Если сравнивать метан с керосином, то он по энергетике лучше, чем керосин, но работать с ним тяжелее, а если сравнивать с водородом, то наоборот - метан уступает водороду по энергетике, но работать с ним легче чем. Когда предлагается переходить к водороду и метану, то тут всегда какие-то колебания возникают.... Но не это главное, а главное то что всё-таки в диссертации не просто горение метана рассматривается, а горение предварительно перемешанной смеси. А в ракетном двигателе там не горит предварительно перемешанная смесь, там в камеру сгорания сразу подается и горючее и окислитель и они в одном месте смешиваются и горят. Поэтому напрямую извлечь пользу из этих результатов для ракетных двигателей я не вижу, честно говоря, как, может, только косвенно как-то... Но я считаю, что здесь есть область прямого применения. Представьте себе, что ракету поставили и ее нужно заправить метаном. Он криогенный компонент у него температура кипения 110 Кельвин, кислород жидкий кипит при 90 Кельвин, поэтому при заправке стенки бака для метана будут всё равно, что для воды раскаленный металл. Он будет вскипать, пар... давление растёт и пар этот некуда девать и если его выбрасывает в атмосферу, то очень скоро вокруг ракеты образуется на стартовой позиции эта самая предварительно перемешанная смесь воздуха с метаном, которые как раз здесь и изучаются. Воспламенится она или нет, это очень важный вопрос, но ответ на него зависит от многих факторов: от концентрации метана, от того будет ли обдувается ракета воздухом или безветренная погода стоит и много-много всего. Но я хочу сказать, что источником бед как раз является воспламенение предварительно перемешанной смеси. Если Вы посмотрите неприятности в угольных шахтах - взрывы, там тоже метан постепенно выделяется, перемешиваясь с воздухом, а на кухне конфорки газовые... там тоже сначала образуется смесь (природный газ это тот же метан по факту). Получается что воспламенение предварительно перемешанной смеси является очень типичной причиной всяких аварий. И мне кажется, что очень важная практическая область приложения диссертации именно к применению пожаро- и взрывобезопасности. Потому что когда возникают взрывы и пожары причинами, как правило, бывает то что образовалась предварительно перемешанная смесь. Ну дальше, что еще я должен сказать... важные формальные моменты это публикации, здесь требования превышены более чем в 2 раза, конечно сейчас аспиранты стали на год больше учиться....В общем здесь всё очень хорошо. Ну и работа вообще очень хорошая, но не идеальная...(смеется) поэтому у меня замечания тоже есть. Давайте для краткости я их просто зачитаю, без всяких комментариев. Замечания:

1. Название диссертации не отражает в полной мере проделанную работу. Кроме экспериментальных данных для условий микрогравитации, в диссертации получены интересные результаты для условий нормальной гравитации, причем при различных ориентациях вектора массовой силы.

2. Имеются опечатки и неточности в терминологии. Например, уменьшение радиуса кривизны поверхности иногда интерпретируется как уменьшение самой кривизны.

3. Диссертация посвящена горению предварительно перемешанной смеси. Однако в тексте отсутствуют сведения о том, насколько хорошо перемешанная смесь использовалась в экспериментах.

4. В диссертации приведены результаты расчетов, выполненных с помощью программного пакета FlowVision. При этом не описаны конкретные физико-математические модели, задействованные в расчетах, что затрудняет понимание результатов. Ну, это и в других было замечаниях.

В заключение, давайте я быстренько зачитаю. В целом, диссертация А.И. Крикуновой выполнена на высоком научном уровне, соответствующем ученой степени

кандидата физико-математических наук. На основе современных экспериментальных методов в диссертации получены новые научные результаты по качественным особенностям и количественным характеристикам горения предварительно перемешанной метано-воздушной смеси при различных условиях. Особо следует выделить уникальные экспериментальные данные для условий микрогравитации, полученные на башне сбрасывания в г. Бремен. Считаю, что диссертационная работа соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (п. 9), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сен-тября 2013 г., а ее автор Анастасия Игоревна Крикунова – присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05. Все.

Председатель

Спасибо, Сергей Гелиевич! Пожалуйста, есть ли вопросы к оппоненту? Нет вопросов. Еще раз поблагодарим за шикарный отзыв! Анастасия Игоревна, вам предоставляется слово для максимально лаконичных ответов на представленные замечания.

Крикунова А.И.

Что касается названия, что оно не отражает в полной мере проделанной работы - просто главной целью были исследования в условиях микрогравитации, тогда как, в условиях “обратной и нормальной гравитации” исследования проводились уже для сравнения. И плюс к тому, совсем бы было некорректно, если бы ещё и в названии звучал такой жаргонизм, как условие “обратной гравитации”. Насчёт опечаток и неточностей: да, согласна. Насчёт того, насколько хорошо была перемешана смесь: она была достаточно хорошо перемешана, о чём свидетельствует симметричность конуса фронта пламени, который был получен. В некоторых экспериментах возникала такая проблема и мы видели несимметричный конус, но тогда мы не использовали эти результаты и старались избегать таких случаев. Насчёт описания FlowVision также уже было отвечено. Всё, спасибо!

Председатель

Следующим пунктом на повестке у нас является дискуссия, но предвзято дискуссии, я считаю, что у нас сегодня было достаточно много задано вопросов и достаточно много положительных выступлений оппонентов, и я думаю, что диссертант тоже проявил себя достаточно квалифицированно, поэтому выступающих я призываю высказываться лаконично, ситуация и так достаточно ясна. Олег Арсеньевич, пожалуйста!

Синкевич О.А.

Уважаемые коллеги, я хотел бы отметить одну особенность представленной здесь диссертации - она типичная для фундаментальных исследований, которыми должны заниматься в академии наук, по крайней мере это первое, что хотелось бы отметить. Второе - наряду с вопросами о том, где это можно приложить (вот, кстати вы, сказали про транспортировку сжиженных газов), когда происходит прорыв и возникает, так называемый, паровой взрыв, где эти результаты тоже могут быть использованы. И второе, это фундаментальный вопрос об устойчивости, не только фундаментальные работы ландау, который рассматривал неустойчивость пламени должны рассматриваться, а и особенности проявления неустойчивость Кельвина-Гельмгольца, которая рассмотрена в идеальной постановке. А здесь ещё имеется и поле температур, и горение. И вообще говоря, вопрос о влиянии этих факторов на инкремент неустойчивость Кельвина-Гельмгольца, он требует более детального теоретического анализа и поэтому те результаты, которые представлены, содержат все необходимые аспекты фундаментальности, которые нужны для продвижения теории и практического приложения. Поэтому я сам буду положительно голосовать.

Председатель

Спасибо, Олег Арсеньевич! Виктор Михайлович, пожалуйста.

Зайченко В.М.

Смотрите, как интересно получилось: разные точки зрения на то что хорошо в этой диссертации. Прекрасно сказал Олег Арсеньевич. Он нам объяснил что такое Академия Наук и какие исследования нам нужно проводить. Спасибо! Значит суммируя всё вот это, разные точки зрения на диссертацию, положительные, то что, безусловно, формально диссертация соответствует всем требованиям, квалификационным, которые предъявляются к работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Я думаю, ни у кого из членов совета сомнений нет. Я поддерживаю мнение Олега Арсеньевича голосовать “за”! Я думаю что, Алексей Юрьевич, можно переходить к заключительной стадии заседания - голосованию.

Председатель

Спасибо. Может, у кого-то еще есть желание выступить или у нас полная ясность?... Спасибо, тогда для осуществления процедуры тайного голосования нам нужно избрать счетную комиссию, которую предлагаю в следующем составе: Чиннов Валерий Федорович, Зайченко Виктор Михайловичи Поляков Анатолий Борисович. Есть ли возражения? Кто за? Спасибо. Тогда членов совета призываю голосовать и просьба не расходиться, нам еще утверждать протокол и проект заключения... *(Проводится процедура тайного голосования)*

Зайченко В.М.

Итак, присутствовало за заседании 22 члена ученого совета, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой специальности - 13. Роздано бюллетеней – 22, осталось не розданных – 3, оказалось в урне оказалось - 22. Результаты голосования: за – 22, против – нет, недействительных бюллетеней – нет. Подписи членов комиссии.

Председатель

Кто зато чтобы утвердить результаты счетной комиссии? Единогласно. Анастасия Игоревна, сейчас будем вас поздравлять! Я от себя лично вот уже поздравляю с защитой блестящей, руководителя, родителей. Анастасия Игоревна, заключительное слово вам.

Крикунова А.И.

Хочу поблагодарить, спасибо большое, диссертационный совет за то, что выслушали, за то что проявили внимание потратили время, на то чтобы поинтересоваться, что я делала в работе и также положительно проголосовали. Также хочу от всей души хочу поблагодарить моего научного руководителя без которого, естественно, не было бы ни моего обучения в аспирантуре, ни работы. на основании результатов которой я защитилась. Спасибо большое, Эдуард Евгеньевич! Также хочу поблагодарить родителей без которых, естественно, тоже бы ничего не было бы, спасибо большое!

Председатель

Так еще раз, значит поздравляю! Нам предстоит утвердить проект заключения.

Председатель

Еще есть какие-то замечания? Нету. Кто за то, чтобы утвердить заключение? Есть ли против или воздержавшиеся? Нет. Утверждаем. *(Проект заключения принят единогласно).*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.110.03
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ

НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

дата защиты 25.12.2017г. протокол № 10

О присуждении Крикуновой Анастасии Игоревне, гражданке Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Колебания и неустойчивости горения предварительно перемешанной смеси в условиях микрогравитации», в виде рукописи, по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы, принята к защите 23.10.2017 г., протокол № 8, диссертационным советом Д 002.110.03 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН, 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2, тел. (495) 485-8345, jiht.ru,), утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 75/нк от 15.02.2013г.

Соискатель Крикунова Анастасия Игоревна, 1990 года рождения, в 2013 году окончила Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)».

В 2017 году окончила очную аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московского физико-технического института (государственного университета)».

Работает научным сотрудником лаборатории № 4.3.1 – экспериментальных и теоретических исследований горения отдела №4.1 Электрофизики и энергетики Научно-исследовательского центра электрофизики и тепловых процессов (НИЦ-4) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)».

Научный руководитель – академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физической механики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московского физико-технического института (государственного университета)» Сон Эдуард Евгеньевич.

Официальные оппоненты:

член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики

им. С.С. Кутателадзе Российской академии наук (630090, г. Новосибирск, пр-т Академика Лаврентьева, д. 1) Маркович Дмитрий Маркович;

доктор физико-математических наук, профессор главный научный сотрудник отделения твердотопливных ракетных двигателей Государственного научного центра Российской Федерации федерального государственного унитарного предприятия «Исследовательского центра им. М.В. Келдыша» (125438, г. Москва, Онежская ул., 8) Черкасов Сергей Гелиевич

дали положительные отзывы на диссертацию;

Ведущая организация: Государственный научный центр Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова» (111116, г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 2) в своем положительном заключении, принятом на заседании НТС отдела аэрокосмических двигателей, составленном заместителем начальника отдела аэрокосмических двигателей по научному направлению, кандидатом технических наук Александровым В.Ю. (утвержденном заместителем генерального директора — директором исследовательского центра «Аэрокосмические двигатели и химмотология» Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова» к.ф.-м.н. Прохоровым А.Н.), отметила актуальность, научную новизну, достоверность результатов работы, практическую значимость работы.

Результаты диссертационного исследования могут быть рекомендованы для использования в ОИВТ РАН, ЦИАМ им. П.И. Баранова, МФТИ, а также других научных и производственных организациях.

Соискатель имеет 11 опубликованных по теме диссертации работ, из которых 2 статьи – в журналах из перечня ВАК и 1 статья – в журнале, входящем в реферативную базу данных Web of Science, 8 тезисов в сборниках трудов конференций. Основные работы:

1. Son E.E. Krikunova A.I. & Saveliev A.S. Premixed Combustion Study: Turbulence in the Nozzle Behind Grids and Spheres // High Temperature. — 2016. — Vol. 54, no. 3. — P. 403–408. doi: 10.1134/S0018151X16030202.
2. Krikunova A.I. Son E.E. & Saveliev A.S. Premixed conical flame stabilization // Journal of Physics: Conference Series. — 2016. — Vol. 774, no. 1. doi: 10.1088/1742-6596/774/1/012087.
3. Крикунова А. И., Сон Э. Е., Клинов К. В. Влияние гравитационных сил на процессы горения // Прикладная физика. – 2017. – №. 3. – С. 21-25.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации» (профессор кафедры механики, д.ф.-м.н., профессор Исаев Сергей Александрович) – отзыв положительный, с замечаниями:

– Следовало четче и конкретнее показать научную новизну. Мало выводов и много деклараций о проведенных работах. Научная проблема выглядит размытой. Хотелось четче обозначить и обосновать «болевые точки» исследования.

– Хотелось бы увидеть описания методологии и получения результатов численных расчетов с использованием пакета FlowVision, а также обоснования его выбора.

2. РГП «Институт проблем горения» (ведущий научный сотрудник лаборатории «Синтеза углеродных наноматериалов в пламени», доцент, к.х.н., Лесбаев Бахытжан Тастанович) – отзыв положительный, с замечаниями:

– Желательно было бы провести сравнительный анализ состава продуктов горения при нормальной гравитации и микрогравитации. Эти данные были бы полезны для выявления отличительных черт механизмов горения и полноты сгорания топлива в условиях микрогравитации.

3. ОАО «Научно-исследовательское предприятие гиперзвуковых систем» (ученый секретарь, старший научный сотрудник, к.ф.-м.н., Корабельников Алексей Васильевич, утвержден генеральным директором – главным конструктором ОАО «НИПГС», д.ф.-м.н. Курановым Александром Леонидовичем) - отзыв положительный, с замечаниями:

– В пункте 2 выводов по результатам работы следовало бы показать в явном виде влияние различных видов гравитации на величину скорости ламинарного горения метано-воздушного пламени, а в пункте 5 пояснить, в чем уникальность полученных фотографий флуоресценции радикалов ОН в условиях микрогравитации.

– Из текста автореферата не ясно, были ли обнаружены в качестве причин изменения скорости горения топлива изменения на уровне скорости реакции горения, как химической кинетики, так и диффузионных процессов, которые можно было бы экспериментально зафиксировать как размытие слоев наблюдаемых частиц в пламени.

– Из текста автореферата не ясно, на чем основан физический принцип стабилизации с помощью вихреобразующего тела – кольца, применяемого для расширения области стабильного пламени по скоростям и коэффициентам избытка топлива. Автор отмечает, что такой метод стабилизации, в отличие от внешней закрутки потока, использования стабилизирующих тел, таких как проволока, цилиндр, диск, использования пилотного пламени или плазменной стабилизации, не влияет на температурные и скоростные характеристики потока, не вносит изменений в состав продуктов сгорания и не изменяет форму пламени.

4. ФГБОУ ВПО «Самарский государственный университет путей сообщения» (заведующий объединенной кафедрой «Естественные науки» д.ф.-м.н., д.т.н., профессор Волон Вячеслав Теодорович) – отзыв положительный, с замечаниями:

– В работе не отражены вопросы влияния начальных условий на процессы горения.

– Некоторая «размытость» выводов, полученных в результате исследований.

– Имеется ряд несущественных замечаний, например, в поле актуальности диссертант пишет, что «мировой парк транспортных средств, работающих на метане, ежегодно возрастает на 25-30%, и по прогнозам к 2020 г. будет достигать 50 млн. единиц», учитывая, что работа посвящена теории горения, указанные ссылки не являются обязательными.

5. АО «ГРЦ Макеева» (заместитель генерального конструктора по проектированию изделий и комплексов — первый заместитель начальника КБ-1 Молчанов Сергей Филиппович, главный конструктор по боевым ракетным комплексам, д.ф.-м.н. Хлыбов Владимир Ильич, главный ученый секретарь, к.т.н. Калашников Сергей Тимофеевич) - отзыв положительный, с замечаниями:

– В работе показана возможность получения изображений флуоресценции радикалов ОН в условиях микрогравитации при экспериментах на вакуумно-динамическом стенде «Drop tower», однако, кроме динамики фронта горения не получены такие характеристики пламени, как распределение температур и плотностей. Такие

данные позволили бы значительно углубить понимание влияния гравитационных сил на процессы горения.

- В работе уделено недостаточно внимания анализу погрешностей измерения.
- Недостаточно подробно описана методика проведения расчетов с использованием программного пакета FlowVision.

6. ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (ведущий научный сотрудник лаборатории нелинейной динамики и теоретической биофизики, д.ф.-м.н. Губернов Владимир Владимирович) - отзыв положительный, без замечаний.

7. ФГАОУ ВО «Казанский федеральный университет» (заведующий кафедрой технической физики и энергетики, д.т.н., доцент Кашапов Наиль Фаикович) – отзыв положительный, с замечаниями:

- Цель работы сформулирована не лаконично и выглядит несколько расплывчато. Обилие информации создает впечатление, что это аннотация выполненного исследования.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что:

д.ф.-м.н., профессор Черкасов С.Г. является ведущим ученым в области исследований тепломассообмена и сложных гидродинамических течений. Является автором более 60 статей по этой тематике.

Основные публикации Черкасова С.Г, связанные с тематикой диссертационной работы Крикуновой А.И.:

1. А. В., Ананьев, В. В., Миронов, Л. А., Моисеева, С. Г. Черкасов. Анизотропное влияние естественной конвекции на температурное поле в емкости при наличии устойчивой температурной стратификации // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. – 2015. – №. 5. – С. 96-106.

2. С. Г., Черкасов, А. В., Ананьев, В. В., Миронов, Л. А., Моисеева. Температурное расслоение в вертикальной цилиндрической емкости с турбулентным свободно-конвективным пограничным слоем // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2016. – №. 4. – С. 137-146.

3. С. Г., Черкасов, А. В., Ананьев, Л. А., Моисеева. Особенности пристеночной свободной конвекции в стратифицированной по температуре среде // Теплофизика высоких температур. – 2017. – Т. 55. – №. 3. – С. 410-417.

Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор Маркович Д.М. является признанным мировым специалистом в области экспериментальных и теоретических исследований и разработки методов диагностики процессов горения.

Основные публикации Марковича Д.М., связанные с тематикой диссертации:

1. A. S., Nebuchinov, Y. A., Lozhkin, A. V., Bilsky, D. M., Markovich. Combination of PIV and PLIF methods to study convective heat transfer in an impinging jet // Experimental Thermal and Fluid Science. – 2017. – Т. 80. – P. 139-146.

2. M. P., Tokarev, D. K., Sharaborin, A. S., Lobasov, L. M., Chikishev, V. M., Dulin, D. M., Markovich. 3D velocity measurements in a premixed flame by tomographic PIV // Measurement Science and Technology. – 2015. – Т. 26. – №. 6. – P. 064001.

3. S. V., Alekseenko, D. M., Markovich, V. M., Dulin, L. M., Chikishev. Study of vortex core precession in combustion chambers // Thermophysics and Aeromechanics. – 2013. – Т. 20. – №. 6. – P. 679-686.

Выбор государственного научного центра Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова» (ЦИАМ) в качестве ведущей организации обусловлен тем, что ЦИАМ является профильной организацией, специализирующейся на проведении исследований в области горения химически активных газовых смесей и их использования в качестве топлив для различных типов двигателей. В исследовательском центре «Аэрокосмические двигатели и химмотология» ведутся интенсивные экспериментальные исследования процессов горения, что близко к тематике диссертационного исследования соискателя. Среди основных публикаций сотрудников ЦИАМ можно выделить следующие публикации, связанные с тематикой диссертации:

1. Р. В., Албегов, В. А., Виноградов, Ю. М., Шихман. Горение метана при различных схемах впрыска в воздушный поток с большими дозвуковыми скоростями // Физика горения и взрыва. – 2016. – Т. 52. – №. 1. – С. 18-29.

2. Sharipov A. S., Titova N. S., Starik A. M. Evaluation of the reaction rate constants for the gas-phase Al-CH_4 -air combustion chemistry // Combustion Theory and Modeling. – 2012. – Т. 16. – №. 5. – P. 842-868.

3. Козлов В. Е. Расчетное исследование влияния турбулентности набегающего потока на V-образное горение однородной метановоздушной смеси // Теплофизика высоких температур. – 2012. – Т. 50. – №. 4. – С. 538-543.

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

- Созданы экспериментальные стенды для исследования характеристик открытого метано-воздушного пламени предварительно перемешанной смеси в условиях микрогравитации, нормальной и «обратной» гравитации при вариации скорости потока и коэффициента избытка топлива в широком диапазоне;

- Получены экспериментальные данные о границах проскока и уноса конического метано-воздушного пламени при изменении направления распространения фронта горения относительно направления вектора гравитации из сонаправленного в противоположно направленное;

- Получены экспериментальные данные о скорости распространения фронта пламени в метано-воздушной смеси в условиях нормальной, «обратной» и микрогравитации;

- Получены экспериментальные данные о частотах пульсаций пламени в условиях нормальной и «обратной» гравитации для широкого спектра вариации скорости потока и коэффициента избытка топлива смеси; расчетные данные при вариации интенсивности внешнего гравитационного поля; на основании этого предложен критерий зависимости частоты мерцания пламени предварительно перемешанной смеси от гравитационных сил и коэффициента избытка топлива.

Научная новизна работы заключается в том, что:

- созданы лабораторные установки для измерения параметров ламинарного и переходного к турбулентному режиму горения в условиях нормальной, «обратной» и микрогравитации (при использовании вакуумно-динамического стенда «Drop tower»);

- впервые получены экспериментальные данные о: кривизне фронта пламени, границах горения (проскок и унос пламени), высоте факела, скорости распространения фронта пламени, частотах мерцания, ламинарном и переходном к турбулентному режиму

горения в лабораторных условиях при нормальной гравитации и в условиях микрогравитации;

- экспериментально показано, что при изменении направления распространения фронта пламени относительно направления вектора гравитации из сонаправленного в противоположно направленное происходит расширение области стабильного пламени в зоне уноса и сужение в зоне проскока;

- предложен критерий оценки зависимости частоты мерцания пламени предварительно перемешанной смеси от интенсивности гравитационных сил и коэффициента избытка топлива;

Значение полученных соискателем результатов **исследования для практики подтверждается** тем, что проведен ряд экспериментальных исследований процессов горения предварительно перемешанных метано-воздушных смесей в условиях микрогравитации, нормальной и «обратной» гравитации, которые позволили сделать вывод и оценить влияние гравитационных сил на кривизну фронта пламени, границы горения (проскок и унос пламени), высоту факела, скорость распространения фронта пламени, неустойчивости пламени. Данные результаты могут быть использованы при моделировании процессов горения, для верификации численных моделей, для учета особенностей поведения пламени в горелочных устройствах при изменении внешних силовых полей (перегрузка), а также при прогнозировании поведения пламени при нештатных ситуациях (пожарах) на космических станциях.

Результаты диссертационного исследования могут быть рекомендованы для использования в Объединенном институте высоких температур РАН, в Институте физической химии им. Н.Н. Семенова РАН, в Центральном институте авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, в Государственном ракетном центре имени академика В.П. Макеева и в других научных и промышленных учреждениях.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что экспериментальные данные получены при помощи современных методов диагностики изотермических потоков и пламени, а также при использовании уникального оборудования для получения условий микрогравитации. Достоверность результатов численного моделирования обеспечивается совпадением с экспериментальными данными, а также надежностью программного пакета FlowVision. Полученные результаты на основе анализа экспериментальных и расчетных данных не вызывают сомнений, поскольку исследования проводились на высоком современном технологическом уровне, с оценкой ряда данных при помощи независимых методик.

Личный вклад соискателя:

Автор работы принимал непосредственное участие в постановке научных задач и разработке методики их реализации. Вклад соискателя состоит в подготовке и проведении экспериментальных исследований изотермических и реагирующих потоков в условиях микрогравитации, нормальной и обратной гравитации. Обработка и анализ полученных экспериментальных данных, на основе которых были сформулированы основные выводы работы и положения, выносимые на защиту, является полностью заслугой автора. Также соискатель провел работу по численному моделированию процессов, исследуемых экспериментально, показал высокое совпадение ряда результатов с экспериментальными данными и на основе анализа получил результаты, на основании которых формулировались основные выводы по работе.

Апробация результатов исследования проводилась на 8 российских и международных конференциях, симпозиумах и семинарах, в которых соискатель

принимал личное участие. Основные публикации по выполненной работе также подготовлены автором в соавторстве.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствует критериям пункта 9, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней ВАК РФ, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании от 25.12.2017 г. диссертационный совет принял решение присудить Крикуновой А.И. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 25 человек, из них 9 докторов наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы и 13 докторов наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 22, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета Д 002.110.03

чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор

Вараксин А.Ю.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.03

д.т.н.

М.П.



Директор Л.Б.

25.12.2017 г.