**СТЕНОГРАММА**

**Заседания диссертационного совета Д003.053.01 по защите диссертации Шторком Сергеем Ивановичем на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника в ФГБУН Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН**

г. Новосибирск 10 часов 30 минут 16.09.2015

ИТ СО РАН протокол № 4

Защита диссертации

Шторка Сергея Ивановича

(Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН)

**Экспериментальное исследование закрученных потоков с формированием крупномасштабных вихревых структур**

выполненной в ФГБУН Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН и представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, физико-математические науки.

**Официальные оппоненты:**

Катасонов Михаил Михайлович - доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения РАН;

Никулин Виктор Васильевич - доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук;

Кузма-Кичта Юрий Альфредович - доктор технических наук, профессор Национального исследовательского университета «Московский энергетический институт».

**Ведущая организация:** ФГБУН Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, г. Москва.

**Заместитель председателя диссертационного совета д.ф-м.н. Алексеенко С.В.:** Зачитал приказ о возложении обязанностей председателясовета № 41 от 15.09.2015 на д.т.н., профессора Терехова В.И. Виктор Иванович, пожалуйста, Вам слово.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:** Уважаемые члены диссертационного совета,кворум у нас есть. Присутствуют 23 члена совета:

1. Алексеенко С.В. - д.ф-м.н., чл.-корр. РАН, 01.04.14, физ.-мат. науки;

2. Фомин В.М. - д.ф.-м.н., академик РАН, 01.04.14, физ.-мат. науки;

3. Кузнецов В.В. - д.ф.-м.н., профессор, 01.04.14, физ.-мат. науки;

4. Баев В.К. - д.т.н., профессор, 01.04.14, технические науки;

5. Бурдуков А.П. - д.т.н., профессор, 01.04.14, технические науки;

6. Гогонин И.И. - д.т.н., профессор, 01.04.14, технические науки;

7. Кашинский О.Н. - д.ф.-м.н., ст.н.с., 01.02.05, физ.-мат. науки;

8. Козлов В.В. - д.ф.-м.н., профессор, 01.02.05, физ.-мат. науки;

9. Куйбин П.А. - д.ф.-м.н., 01.02.05, физ.-мат. науки;

10. Маслов А.А. - д.ф.-м.н., профессор, 01.02.05, физ.-мат. науки;

11. Низовцев М.И. - д.т.н., 01.04.14, технические науки;

12. Новопашин С.А. - д.ф.-м.н., ст.н.с., 01.02.05, физ.-мат. науки;

13. Павленко А.Н. - д.ф.-м.н., член-корр. РАН, 01.02.05, физ.-мат. науки;

14. Предтеченский М.Р. - д.ф-м.н., чл.-корр. РАН, 01.04.14, физ.-мат. науки;

15. Ребров А.К. - д.ф.-м.н., академик РАН, 01.04.14, технические науки;

16. Рубцов Н.А. - д.т.н., профессор, 01.04.14, технические науки;

17. Солоненко О.П. - д.т.н., профессор, 01.04.14, технические науки;

18. Станкус С.В. - д.ф.-м.н., профессор, 01.04.14, физ.-мат. науки;

19. Терехов В.И. - д.т.н., профессор, 01.04.14, технические науки;

20. Трифонов Ю.Я. - д.ф.-м.н., ст.н.с., 01.02.05, физ.-мат. науки;

21. Чекмарев С.Ф. - д.ф.-м.н., профессор, 01.04.14, физ.-мат. науки;

22. Шарыпов О.В. - д.ф.-м.н., доцент, 01.04.14, физ.-мат. науки;

23. Яворский Н.И. - д.ф.-м.н., профессор, 01.02.05, физ.-мат. науки.

Во-первых, хочу поздравить Вас с началом осенне-весенней сессии, пожелать хороших защит диссертаций. Сегодня мы будем слушать защиту диссертации Шторком Сергеем Ивановичем по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, тема здесь обозначена на экране «Экспериментальное исследование закрученных потоков с формированием крупномасштабных вихревых структур», на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Официальные оппоненты: Кузма-Кичта Юрий Альфредович, Московский энергетический институт,к сожалению, он болен и не смог приехать;доктор физико-математических наук Никулин Виктор Васильевич из Института гидродинамики им. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук, он здесь присутствует; Катасонов Михаил Михайлович, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения наукиИТПМ, он здесь присутствует. Ведущая организация: Объединенный институт высоких температур. Слово представляется ученому секретарю для зачтения документов.

**Ученый секретарь диссертационного совета д.ф.-м.н. Кузнецов В.В.** зачитывает документы личного дела соискателя. (Все необходимые документы в личном деле имеются).

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:**

Вопросы по документам есть? Нет. Тогда, Сергей Иванович,Вам слово для представления своих результатов.

**Соискатель Шторк С.И.** излагает основное содержание диссертации. Доклад соответствует автореферату.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:**

Спасибо. Вопросы, пожалуйста.

**Д.ф.-м.н. Козлов В.В.:** Вы говорили в докладе о влиянии на вихревые структуры диафрагмирования и изменения длины камеры. Вопрос, о волнах на вихревой нити, влияет ли на них укорачивание камеры?

**Соискатель Шторк С.И.:** Диафрагма позволяет получить очень тонкое концентрированное вихревое ядро. Измерения показывают, что это вихревое ядро действительно маленькое и можно рассматривать эту структуру как изолированную вихревую нить. Высота камеры может влиять на нее в случае очень короткой или длинной камеры, а в тех диапазонах, которые рассматривались в работе, влияние длины камеры несущественное.

**Д.т.н. Гогонин И.И.:** Вы рассматривали задачи, которые имеют отношение к практике – камерысгорания, турбины, горелки. Скажите, пожалуйста, сколько патентов Вы имеете по этим устройствам?

**Соискатель Шторк С.И.:** Патенты у меня есть –два патента.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:** Два патента - короткий вопрос, короткий ответ. Пожалуйста, еще вопросы.

**Д.ф.-м.н. Новопашин С.А.:** Вопрос по первой части доклада. Вы очень подробно рассказывали о различных топологиях вихревых нитей, которые образуются в квадратной камере. Здесь хотелось бы посмотреть на карту режимов: когда образуется один вихрь, когда образуется два вихря, левосторонний, правосторонний, либо еще что-то. Вы этого не показали, поэтому вопрос, тоже может быть качественный - скажем просто изменяя число Рейнольдсав одной и той же камере можно получить переход от вихря с одной конфигурацией к другой, либо мы должны что-то изменять в устройстве камеры?

**Соискатель Шторк С.И.:**Я не показал в презентации, нотакие исследования проводились - по сравнению структур при изменении числа Рейнольдса. Было показано, что, на самом деле, число Рейнольдса, в тех пределах, в которых я работал, не является определяющим параметром. Даже параметр крутки в определенных пределах не влияет на структуру вихрей. Влияет геометрия, именно, сильные возмущения, которые мы вносим на торцах камеры.Изменение геометрии дна и выхода камеры является определяющим.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:** Сергей Иванович, в дополнение к вопросу Новопашина Сергея Андреевича, образование продольных спиралей — это скорее экзотика, исключение из правил или это правило?

**Соискатель Шторк С.И.:** Для определенных условий, которые найдены в работе, это является правилом.

**Д.ф.-м.н. Павленко А.Н.:**Вопросы по двойной спирали - областьсуществования такого режима и в плане сравнения с упомянутой теоретической работой Такаки и Хусейна, Вы пытались сравнивать длины, частоты?

**Соискатель Шторк С.И.:** Сейчас представлено качественное сравнение по форме, топологии, характерным размерам. Количественные измерения у нас начали появляться только в последнее время.

**Д.ф.-м.н. Павленко А.Н.:**Какие приближения были использованы в теоретическом расчете?

**Соискатель Шторк С.И.:** Было использовано длинноволновое приближение, т.е.длина волны много больше радиуса спирали. Мы получали структуры, которые внешне, качественно соответствуют теории.

**Д.ф.-м.н. Павленко А.Н.:** В расчете область существования не была предложена?

**Соискатель Шторк С.И.:** Нет.

**Д.т.н. Бурдуков А.П.:**Вы получили хорошие данные по выбросам окислов азота на маленькой камере. Эти выбросы определяются соотношением физического и химического времен реагирования, параметром Дамкеллера. Если мы перейдем к реальной камере, как на Ваш взгляд насколько могут измениться эти хорошие показатели?

**Соискатель Шторк С.И.:** Вначале я показывал диаграмму, демонстрирующую, что мы работаем в пределах обедненных режимов горения, когда температура пламени меньше 1300-1350°С. Есть работы, где говорится о том, что время пребывания при таких температурах не оказывает существенного влиянияна образование окислов азота (механизм Зельдовича подавляется).

**Д.ф.-м.н. Ахметов Д.Г. (с.н.с ИГиЛ СО РАН):**У Вас двойная спираль получается, когда дно состоит из двух пластин. Если поставить три или четыре пластины, можно получить три или четыре вихря?

**Соискатель Шторк С.И.:** Мы такие попытки делали. В презентации на визуализации было видно, что даже двойная спираль менее устойчива, чем одинарная.Мы пробовали получить четыре спирали, но явных устойчивых режимов не удалось получить. Причина в том, что интенсивность вихряделитсяна четыре части.

**Д.т.н. Баев В.К.:**В продолжение вопроса А.П. Бурдукова. Вы сопоставляли термодинамически равновесные концентрации окислов азота при тех параметрах, которые у Вас были?С какой скоростью образуются окислы азота?

**Соискатель Шторк С.И.:** В данной работе, как она у нас была опубликована, мы таких оценок не делали.

**Д.т.н. Баев В.К.:** Т.е. Вы говорите, что концентрации низкие, но Вы не знаете соответствуют ли они термодинамически равновесным концентрациям. Или Вы успели создать неравновесное течение за счет малого времени пребывания?

**Соискатель Шторк С.И.:** Я показывал график, где было представлено, что для газообразного топлива выбросы окислов азота от параметра крутки, который определяет время пребывания, практически не зависят.

**Д.т.н. Баев В.К.:** Можете здесь на диаграмме для Вашей температуры и концентрации отметить термодинамически равновесную концентрацию? Если нет, значит Ваше утверждение о низком уровне выбросовне носит общего характера.

**Соискатель Шторк С.И.:** Согласен, что для других условий это предположение надо проверятьдополнительно.

**Д.т.н. Низовцев М.И.:** Вы можете сформулировать физические критерии или специальные условия перехода от течения вихревой нити к течению в прецессирующемвихревом ядре?

**Соискатель Шторк С.И.:** Данные, которые здесь представлены и включены в диссертацию, дают предельные случаи, когда мы имеем одинарную и ярко выраженную двойную спираль. Проводились исследования, например, с двойной спиралью,когда мы переходили от плоского дна к двускатному.

**Д.т.н. Низовцев М.И.:** Какие-то критерии есть?

**Соискатель Шторк С.И.:** Критерии геометрические – высота диафрагмы, угол раскрытия двускатного дна.

**Д.т.н. Низовцев М.И.:** Т.е. это такие условия?

**Соискатель Шторк С.И.:** Да, есть предельный угол, когда такая спираль начинает формироваться.

**Д.т.н. Низовцев М.И.:** Еще один вопрос по поводу течений, которые Вы исследовали для практических приложений, например, при горении с прецессирующими вихрями. Они являются определяющими в этих течениях, либо они являются сопутствующими?Например, Вы говорите, что, когда горит или не горит, это не влияет. Похоже, что здесь они являются сопутствующими и не являются определяющими.

**Соискатель Шторк С.И.:** По поводу этого эффекта, что горение не влияет на прецессию, было много замечаний в отзывах. Я давал объяснения в докладе, что горения как раз нет там, где есть прецессирующее вихревое ядро.

**Д.т.н. Низовцев М.И.:** Т.е. оно не влияет практически?

**Соискатель Шторк С.И.:** Да.

**Д.ф.-м.н. Ребров А.К.:** Вопрос по поводу вывода, что закрутка потока снижает диапазон устойчивого горения за счет проскока пламени. Это универсальное заключение?

**Соискатель Шторк С.И.:** В презентации данный комментарий относится к конкретным условиям. Хотя это явление имеет место и в других вихревых системах, где отмечается, что закрутка является одним из самых опасных факторовпроскока.

**Д.ф.-м.н. Ребров А.К.:** Расскажите, пожалуйста, о Ваших учениках.

**Соискатель Шторк С.И.:** В течение последних семи лет я выпустил больше десятка студентов-дипломников, у меня сейчас три аспиранта.

**Д.ф.-м.н. Ребров А.К.:** У Вас есть защищенные под Вашим руководством кандидаты наук?

**Соискатель Шторк С.И.:** Есть, это Дектерев Дмитрий Александрович, в 2013 г. защитил кандидатскую диссертацию под моим руководством.

**Д.ф.-м.н. Ребров А.К.:** Вы занимались чисто практическими задачами. Защита диссертации на соискание степени доктора физико-математических наук освобождает от вопроса, кого Вы консультировали из практиков, кому Вы помогли.Но я этот вопросзадаю.

**Соискатель Шторк С.И.:** Все исследования действительно начинались как прикладные работы, в частности, связанные с винтовыми вихрями, которые мы получили в гидравлической камере. Это была модель, выполненная по хоздоговорной работе. Исходная геометрия – это модель камеры сгорания топки Е-500, которая работает на Красноярской ТЭЦ-2. Мы работали с СибВТИ, я в свое время был сотрудником этого института. Мы делали для них большое количество работ, которые были включены в публикации и отчеты, хотя в материалы диссертации это не вошло.

**Д.ф.-м.н. Ребров А.К.:** Публикаций не нужно. Кому Вы помогли, можете конкретно назвать кого-то из практиков?

**Соискатель Шторк С.И.:** Сибирский филиал Всесоюзного теплотехнического института, для них мы исследовали режимы бесшлаковочной работы тангенциальной топки, выдали рекомендации, которые позволяют избежать «налипания» горелочных струй на боковые экраны. Говоря о последних исследованиях, я ссылался на гидроэнергетику. Сейчас у нас есть договорные работы с Ленинградским металлическим заводом, мы много для них работаем, поставляем много данных. В последнее время наш вклад связан с предоставлением данных для верификации численных кодов. Я показал в презентации ссылку на публикацию Дувига и Фукса. Это люди, которые непосредственно работают с разработчиками газотурбинных камер сгорания. Они использовали мои результаты для верификации своих численных кодов, которые затем применялись для расчета практических систем.

**Д.ф.-м.н. Ребров А.К.:** И последний вопрос. Какие два из фундаментальных на Ваш взгляд результатов, которыми Вы гордитесь?

**Соискатель Шторк С.И.:** Это двойная спираль, уникальное, я считаю, явление. Дальше мы с ней будем работать, подробно исследовать. И второе, это вихревая структура закрученной струи, которая была показана в презентации. Это не расчет, не PIV, это точечные измерения с помощью ЛДА. Был проведен очень большой объем работы, была проведена специальная обработка ЛДА сигнала, чтобы восстановить трехмерную структуру течения.

**Д.ф.-м.н. Трифонов Ю.Я.:** Известно, что для топочных камер важна равномерность потока, чтобы там все хорошо сгорало. А спиральные структуры локализуют течение и ухудшают равномерность. С этой точки зрения, спиральные структуры паразитное или полезное явление для сгорания. И второй вопрос, Вы сказали, что масштабирование осуществляется по числу Рейнольдса. Но там же много различных геометрических параметров. Как у Вас строилось число Рейнольдса?

**Соискатель Шторк С.И.:** По последнему вопросу, число Рейнольдса определялось, если мы работаем в вихревой камере, по поперечному размеру и среднерасходной скорости. В случае струи – число Рейнольдса строится по горловине сопла. Т.е. для каждого случая выбираются те размеры, которые являются для данной задачи определяющими. Что касается первого вопроса мы считаем, что потенциал в плане улучшения горения у вихревых структур есть. Для чего вообще используется закрутка потока в камерах сгорания? Известно, что для увеличения времени пребывания, улучшения смешения, т.е. частица топлива движется не прямолинейно, а по спиральной траектории. Прямолинейный вихрь, который образуется в тангенциальных и циклонных топках, мы сжимаем, получаем винтовую спираль и поэтому можем получить те же самые эффекты, время пребывания и т.д., на меньших габаритах.

**Д.ф.-м.н. Павленко А.Н.:**Вопрос по вихревому газожидкостному течению: как, по Вашему мнению, влияет на характеристики газожидкостного течения поверхностное натяжение?

**Соискатель Шторк С.И.:** Такую задачу мы, на самом деле, ставили и планировали этот вопрос исследовать. Я ссылался в презентации на работы Кашинского и Горелика, которые проводили исследования с разными размерами пузырьков. Они выяснили, что за счет центробежных сил, воздух сепарируется к оси вращения потока, образуя единую газовую полость. Т.е. этот эффект является определяющим.

**Д.т.н. Баев В.К.:**Влияет ли шероховатость стенок на условия образования вихревых структур?

**Соискатель Шторк С.И.:** Специально этот вопрос не исследовался. Мы считали, что основное влияние оказывают условия на торцах камеры.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:** Вопрос в целом ко всей работе. Были ли попытки построения карт режимов, обобщения, определения областей существования одного вихря, двух вихрей?Понятно, что для Вас как будущего доктора физмат. наук это было не главным, главное было открыть явление, но для инженерных приложений это было бы полезным.

**Соискатель Шторк С.И.:** Я согласен, что задача нахождения общих критериев является важной. На самом деле эта задача является крайне сложной, если говорить о закрученных потоках. Даже тот параметр крутки, который в работе используется, всегда вводитсядля определенной конструкции вихревой камеры. Очень сложно сравнивать на основании этого параметра, например, частотные характеристики и т.д.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:** Судя по визуализации вихревых структур, режим течения ламинарный. Так это или нет?

**Соискатель Шторк С.И.:** Исходя из чисел Рейнольдса, исследовались турбулентные режимы. Хотя вблизи ядра возможно подавление турбулентности. Пока еще не проводились измерения поля течения вблизи ядра, чтобы точно ответить на этот вопрос.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:** Спасибо. Вопросы закончились. Уважаемые члены совета мы имеем право сделать перерыв, хотя это не значит, что должны. Есть предложение двигаться дальше, если нет возражений. Приступаем к анализу отзывов, поступивших на диссертацию и автореферат. Слово предоставляется ученому секретарю совета. Владимир Васильевич, пожалуйста.

**Ученый секретарь диссертационного совета д.ф.-м.н. Кузнецов В.В.:** В деле имеется заключение организации, в которой выполнена диссертационная работа, Федерального государственного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН. Заключение утверждено директором ИТ СО РАН член-корреспондентом РАН Алексеенко С.В., подписано председателем общеинститутского семинара ИТ СО РАН академиком Накоряковым В.Е. и секретарем семинара к.т.н. Гореликом Р.С. (зачитывает заключение).

Имеется положительный отзыв ведущей организации - Федерального государственного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН), г. Москва. Отзыв составлен заведующим Отделом гидродинамических и тепловых процессов в двухфазных потокахд.ф.-м.н., чл.-корр. РАН Вараксиным А.Ю. и утвержден заместителем директора по научной работе ОИВТ РАН к.ф-м.н., доцентом Гавриковым А.В.(зачитывает отзыв).

Замечания ведущей организации:

1. В работе использовались методики измерений, основанные на отслеживании трассеров, добавляемых в исследуемое вихревое течение. Это относится к методу визуализации течения жидкости, куда добавлялись пузырьки воздуха, и потока воздуха, засеянного аэрозолем или твердыми частицами. Трассеры добавлялись также в поток для применения метода ЛДА. Известно, что закрутка потока может оказывать заметное влияние на способность трассеров отслеживать течение. Между тем, в диссертации этот аспект даже не упоминается.

2. Некоторые эффекты, связанные с генерацией крупномасштабных вихревых структур, как, например, ПВЯ, исследовались в различных установках, для которых в диссертации приводятся данные измерений характеристик, таких как частота прецессии. Можно было ожидать, что автор представит обобщающие зависимости на основе введенных в работе безразмерных критериев. Однако такие графики отсутствуют в представленном тексте диссертации.

3. Как подчеркивается в диссертации, исследования проводились в моделях промышленных вихревых устройств. В плане практического использования полученных результатов было бы полезным определение критериев подобия, с помощью которых можно переносить результаты модельных испытаний на натурные образцы. В диссертации приводятся только два критерия – число Рейнольдса и параметр крутки. Этих критериев недостаточно, скажем, в случае моделирования камер сгорания, где сильное влияние на структуру течения оказывает эффект неизотермичности среды.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:** Пожалуйста, Сергей Иванович, ответы на замечания ведущей организации.

**Соискатель Шторк С.И.:**

1. В главе 1, дающей описание использованных методик измерений, обсуждается вопрос засева потока, приводится информация о размере частиц (1-3 мкм), дается оценка на основе литературных данных характерных частот турбулентных пульсаций потока, которые такие частицы могут отслеживать, именно до 6 кГц. Это заведомо больше характерной локальной частоты вращения вокруг вихревого ядра, которая составляет порядка 200 Гц (в экспериментах с количественными измерениями распределений скорости с помощью ЛДА).

2. Согласен с тем, что работа могла выглядеть более выигрышно, если бы такие обобщающие зависимости были приведены. Тем не менее, я полагаю, что традиционный параметр крутки может использоваться только для сравнения данных, полученных на конкретной установке и не пригоден для обобщения данных, полученных на разных вихревых камерах. Поэтому в диссертации не приводятся обобщающие зависимости для разных установок.

Использованный в данной работе подход, основанный на упрощенном моделировании с использованием отдельных критериев является достаточно распространенным. В случае топочных камер котельных установок изотермическое моделирование на геометрически подобных уменьшенных моделях на основе только одного критерия подобия, числа Рейнольдса (в случае устройств с закруткой потока добавляется еще один критерий - параметр крутки), позволяет с относительно небольшими затратами провести исследование особенностей аэродинамики камеры, которая, в свою очередь, определяет топочный процесс. Хотя результаты изотермического моделирования имеют свои ограничения в применимости к натурным условиям с горением, они позволяют определить направление оптимизации конструкции и снизить затраты на разработку оборудования, уменьшив количество вариантов конструкции, исследуемых на крупномасштабных огневых стендах и натурных объектах. Здесь необходимо заметить, что цикл разработки промышленных устройств обязательно должен включать в себя стадию проверки и доводки решений, найденных с использованием изотермических моделей, на полунатурных и натурных установках.

**Ученый секретарь диссертационного совета д.ф.-м.н. Кузнецов В.В.:** Отзывы на автореферат. Всего поступило 10 отзывов. Все отзывы положительные.

Отзыв НИИ экспериментальной и теоретической физики Казахского национального университета им. Аль-Фараби, подписан заведующим Отделом теплофизики д.т.н. Устименко А.Б., д.т.н., профессором Мессерле В.Е., отзыв положительный, без замечаний.

Отзыв ЗАО Научно-производственное предприятие Сибэкотехника», подписан директором по научной работе, д.т.н., профессором Мурко В.И., отзыв положительный, без замечаний.

Отзыв СКБ «Гидротурбомаш» ОАО «Силовые машины», подписан вед. конструктором, к.т.н. Сониным В.И. и утвержден главным конструктором гидротурбин, начальником СКБ «Гидротурбомаш» Колесниковым А.А., отзыв положительный, без замечаний.

Отзыв Института теплофизики СО РАН, подписалглавный научный сотрудник, д.т.н., профессор Дубнищев Ю.Н., он отсутствует на заседании, поэтому представил отзыв,отзыв положительный, без замечаний.

Отзыв Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации, подписан д.ф.-м.н., профессором Кафедры механики Исаевым С.А., отзыв положительный. Имеются замечания:

1. Работа сформулирована, как не имеющая предшественников и прототипов. Хотелось бы уточнить личные достижения автора.

2. Опять же целесообразно конкретизировать пределы изменения определяющих параметров. Нет комментариев по внешней турбулентности и по масштабу турбулентности.

Отзыв Томского государственного университета, подписан д.ф.-м.н., заведующим Кафедрой физической и вычислительной механики Лободой Е.Л., отзыв положительный. Есть замечание:

В качестве замечания можно отметить следующее: на стр. 27 автор говорит о том, что «Неожиданным результатом является, что горение также не оказывает существенного влияния на частоту прецессии» и дальше дает объяснения данного результата. Полагаю, что для лучшего понимания полученного явления было бы полезным проанализировать пульсации термодинамических параметров, их частоты и их связь с частотой прецессии.

Отзыв Дальневосточного федерального университета, подписан д.т.н., профессором, заведующим Кафедрой теплоэнергетики и теплотехники Инженерной школы Штымом А.Н., отзыв положительный. Замечания:

1. Геометрический параметр закрутки потока S не отражает всего многообразия генерации концентрированного вихревого движения. Нет претензий к сделанному диссертантом графическому обобщению опытных данных от S, но необходим поиск более универсальной величины и ее численная увязка с ПВЯ.

2. Вывод о том, что «горение не оказывает существенного влияния на частоту прецессии» требует уточнения, так как имеет большое практическое значение. В наших исследованиях камер с комбинированной генерацией вихря, мы пришли к заключению о существенном влиянии горения на аэродинамику приосевой зоны циклонно-вихревых камер. Возможно этот вывод справедлив только для частных условий генерации вихря при сжигании топлива.

Отзыв ООО «Зио-Котэс», подписан, заместителем генерального директора, техническим директором д.т.н., Серантом Ф.А., отзыв положительный. Замечание:

В порядке замечаний хотелось бы отметить, что в автореферате отсутствуют данные по влиянию крутки потока на протяженность и поперечные размеры зоны возвратного течения, радиуса максимума осевой скорости и др. Это особенно интересно знать при разных конструкциях дна и выхода камеры.

Отзыв Сибирского федерального университета, подписан заведующим кафедрой Теплотехники и гидрогазодинамики, д.т.н., профессором Кулагиным В.А.,отзыв положительный. Есть замечания:

1. Суждение об отсутствии влияния горения на частоту прецессии вызывает сомнение и требует дополнительного изучения

2. цель диссертации сформулирована неудачно:

- диссертация (от лат. Dissertation – исследование, рассуждение), таким образом имеем тавтологию

- цельюисследования «является детальное исследование …»;

- цель работы не ориентирована на решение проблемы, которая так и не сформулирована в самом автореферате;

3. Пункты научной новизны сводятся к перечислению полученных фактов и обнаруженных эффектов и не позволяют судить об их значимости в том или ином случае, а также о том, чем полученный результат превосходит ранее известные данные (кстати, в автореферате нет упоминания об исследователях, на чьих идеях и достижениях базируется данная работа, что позволило бы судить о степени важности и значимости результатов, достигнутых самим автором);

4. В автореферате даже не сделана попытка обобщения полученных экспериментальных данных в виде математической модели и сравнения результатов численных исследований с экспериментальными.

Сделанные замечания являются вполне естественными для этого значительного труда, который свидетельствует о важности полученных результатов на перспективу

Отзыв Энергетического института Томского политехнического университета, подписан заведующим кафедрой теоретической и промышленной теплотехники, д.ф.-м.н., профессором Кузнецовым Г.В. и заведующим кафедрой парогенераторостроения и парогенераторных установок д.т.н., профессором Завориным А.С., отзыв положительный. Замечания:

1. Весьма пространно изложение основных результатов и выводов (стр. 36-40), которое по своему стилю представляет своего рода «автореферат автореферата» и не концентрирует читающего на главных положениях.

2. В разделе «Научная и практическая значимость» (стр. 6, 7) рекомендации к практическому использованию даны в виде общих формулировок, которые для практической реализации при создании топливосжигающих установок должны быть более конкретными.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:** Пожалуйста, Сергей Иванович, ответы на замечания по отзывам на автореферат.

**Соискатель Шторк С.И. :**

Отзыв профессора Исаева С.А.

1. В автореферате, действительно, обзор предыдущих исследований представлен лишь отдельными ссылками. Связано это с достаточно широким кругом исследовательских проблем, каждая из которых имеет свою историю развития и охват их в рамках ограниченного по объему автореферата является непростой задачей.

Мои личные достижения я постарался оттенить в докладе.

2. Пределы изменения параметров были представлены на соответствующих слайдах, показанных в течение доклада. Вопрос про параметры турбулентности является безусловно важным, но в моей работе, направленной на выявление и изучение основных особенностей крупномасштабных вихрей, этот аспект не рассматривается.

Лобода Е.Л., д.ф.-м.н., заведующий Кафедрой физической и вычислительной механики ММФ Томского государственного университета

1. На самом деле в диссертации приводятся данные по частотным характеристикам пульсаций сигнала от хемилюминесцентного оптического датчика, который характеризует зону реакции. Спектр сигнала имеет дискретный пик, который соответствует частоте прецессии вихревого ядра. Это говорит о том, что гидродинамическая неустойчивость непосредственно модулирует процесс горения.

Отзыв профессора Штыма А.Н.

1. Абсолютно согласен с этим замечанием. Могу только заметить, что данная проблема, хотя и отмечается многими исследователями, так и не решена на настоящее время.

2. Согласен, что данный вывод относится к специфичному устройству и для определенных режимов его работы. Поскольку похожее замечание присутствует в нескольких отзывах, в своем докладе я постарался дать более подробное объяснение этого эффекта.

Отзыв профессора Серанта Ф.А.

В диссертации приводятся данные по влиянию параметра крутки на аэродинамические характеристики потока в модели вихревой камеры сгорания. Подобные эксперименты с варьированием геометрии дна и выхода пока не выполнялись, но в настоящее время проводятся измерения распределений скоростей с помощью PIV систем. На основе этих измерений могут быть определены характеристики зоны возвратного тока.

Отзыв профессора Кулагина В.А.

1. Ответ на первое замечание, которое аналогично замечанию профессора Штыма А.Н., уже давался выше.

2. Высказанные в отзыве замечания в части формулировки цели и задач исследований, новизны и значимости результатов, вклада автора были учтены при подготовке доклада, в котором я постарался более подробно осветить эти моменты.

3. Хотя об этом не упоминается в автореферате, в диссертации математические модели привлекаются для анализа и интерпретации экспериментальных данных. Например, в главе 3 модельное представление для ПВЯ в виде спиральной структуры используется для объяснения аномальной параболической зависимости безразмерной частоты прецессии от степени закрутки потока. В главе 4 простые математические модели вихрей привлекаются для оценки параметров вихревого ядра. В диссертации также приводятся примеры сравнения и сопоставления результатов моих экспериментов и численных расчетов других авторов (один из примеров был приведен в моем докладе).

Отзыв профессора Кузнецова Г.В. и профессора Заворина А.С.

1. Согласен, что в автореферате заключение должно быть изложено более лаконично. Я постарался учесть это замечание при подготовке доклада и изложил заключение, как представлено на слайдах, в более концентрированном виде.

2. Согласен с замечанием. Могу только отметить, что для выработки конкретных рекомендаций нужны дальнейшие исследования на крупных огневых стендах и натурных установках.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:**Спасибо, на все замечания были даны исчерпывающие ответы. Переходим к анализу отзывовофициальных оппонентов.Владимир Васильевич сейчас огласит отзыв отсутствующего оппонента профессораКузма-КичтаЮрия Альфредовича из Московского энергетического института.

**Ученый секретарь диссертационного совета д.ф.-м.н. Кузнецов В.В.:** (зачитывает отзыв официального оппонента Кузмы-Кичты Ю.А., отзыв положительный прилагается).

Замечания:

1. В первой главе подробно обсуждается модель винтового вихря. Однако далее параметры вихревых структур определяются на основе классических моделей вихрей и модель винтового вихря не используется.

2. В главе 3 представлены результаты исследования вихревого потока в модели газотурбинной камеры сгорания при атмосферном давлении. Поскольку на практике ГТУ работают при повышенном давлении, то желательно было рассмотреть влияние давления на определение оптимальных режимов работы низкоэмиссионной камеры сгорания.

3. В главе 4 при обсуждении формирования вторичных вихрей, прецессирующих вместе с основным вихрем, выдвигается предположение, что они будут влиять на стабилизацию пламени. Однако горение в свою очередь будет влиять на формирование вторичных вихрей и они будут разрушаться.

4. При исследовании газожидкостного потока в вихревой камере важно, как соотносятся расходное и истинное газосодержание. Можно ли на основе полученных результатов оценить их различие за счет проскальзывания газовой фазы относительно жидкости.

5. В разделах «публикации» в автореферате и диссертации написано, что по работе имеется 33 публикации в журналах из перечня ВАК, но в автореферате дан список только 27 публикаций?

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:**Спасибо, Владимир Васильевич. Сергей Иванович, Вам слово для ответов на замечания.

**Соискатель Шторк С.И.:**

1. Действительно параметры вихревого ядра в отдельных сечениях определяются в диссертации с привлечением простых плоских моделей вихря (Рэнкина, Скулли), которые широко используются в литературе, поскольку вполне отражают основные особенности вихрей с локализованной завихренностью. Вместе с тем представленные в работе вихревые структуры обладают спиральной геометрией оси вращения. Для описания пространственной структуры поля течения, индуцированного такими вихрями, необходимы более сложные модели, наиболее продвинутой из которых на настоящее время является модель винтового вихря. Поэтому описание теории винтовых вихрей, разработанной в ИТ СО РАН моими коллегами, приведено в диссертации. Положения этой теории используются на качественном уровне для интерпретации и обсуждения наблюдаемых в эксперименте структур. Попытки количественного сопоставления теории и эксперимента предпринимаются в настоящее время (в 2015 г. должна выйти статья в журнале Теплофизики и аэромеханика с результатами вычисления параметров прецессирующего вихревого ядра на основе модели винтового вихря).

2. Поскольку эксперименты с натурными или лабораторными установками при повышенном давлении очень сложны и дорогостоящи, то на практике лабораторные исследования часто осуществляют в более простых условиях под атмосферным давлением. Это позволяет с относительно небольшими затратами исследовать различные режимы работы и варианты геометрии, провести детальные исследования внутренней структуры, определить оптимальные режимы работы. Повышение давления безусловно влияет на условия горения топлива, поэтому для подтверждения разработанных рекомендаций необходимы дополнительные опыты с повышенным давлением.

3. Ситуация аналогична той, что обсуждалась выше относительно влияния условий с повышением давления. Изотермическое моделирование является широко распространенным этапом разработки горелочных устройств, которое также использовалось в настоящей работе.Безусловно горение оказывает существенное влияние на аэродинамическую структуру горелочной струи, в том числе на ПВЯ и вторичные вихри. Однако можно сослаться на недавние работы ИТ СО РАН, в которых вторичные вихревые структуры, аналогичные тем, что описаны в диссертации для изотермических условий, были выявлены в потоке с горением (Markovichetal. Phys. Fluids. – 2014). Т.е. вторичные вихри могут реализоваться в условиях горения и, соответственно, влиять на процесс стабилизации пламени.

4. На основе полученных результатов можно заключить, что проскальзывание газовой фазы относительно жидкости определенно имеет место, о чем свидетельствует скачкообразный характер зависимостей интегральных характеристик от расхода газа. Однако для количественной оценки этого эффекта необходимы дополнительные измерения локального газосодержания.

5. В автореферате приведены основные публикации (главным образом в российских и зарубежных журналах, которые индексируются WoS или Scopus).

**Председательствующий на заседаниидиссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:**Спасибо, Сергей Иванович. Юрий Альфредович знаком с ответами, Вы как-то контактировали с ним?

**Соискатель Шторк С.И.:** Да, мы обсуждали это по телефону.

**Председательствующий на заседаниидиссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:** Слово предоставляется д.ф.-м.н. Михаилу Михайловичу Катасонову, ИТПМ СО РАН.

**д.ф.-м.н. Катасонов М.М.:** (зачитывает отзыв, отзыв положительный прилагается).

Замечания

1. По моему мнению, более логично разделить главу 1 на две главы, описывающие методы измерений и теоретические модели. Еще одно замечание по структуре диссертации связано с отсутствием списка обозначений, что иногда затрудняет знакомство с работой.

2. По главе 4 (раздел 4.4) имеется методическое замечание, касающееся измерений распределений мгновенного поля давления с помощью акустических датчиков (микрофон с отборником). Как указывает сам автор, микрофон регистрирует пульсации давления относительно среднего по времени статического давления в измеряемой точке. Исходя из того, что в закрученном потоке статическое давление весьма заметно изменяется в радиальном и осевом направлениях (рис. 4.4.6), не ясно учитывалось ли это в приведенных далее графиках распределений фазовоосредненного давления (рис. 4.4.8, 4.4.10б, 4.4.12а). Если учитывалось, то каким образом производились измерения распределений статического давления.

3. Вывод на основе результатов главы 5 о том, что вследствие интенсивной закрутки потока происходит полная сепарация газовой фазы к оси вращения вихревого ядра может быть сделан только на основе измерений распределений локального газосодержания в потоке. Кстати, то, что часть газа все-таки остается на периферии течения указывает приведенная самим автором визуализация газожидкостного течения в рабочей камере (рис. 5.1.2).

4. Подписи на многих рисунках даны на английском языке. Хотя, это в общем не затрудняет понимание приведенной информации, для русскоязычной работы следовало бы сделать перевод всех подписей, включая единицы измерений на графиках.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:** Спасибо Михаил Михайлович. Пожалуйста, Сергей Иванович, ответы на замечания.

**Соискатель Шторк С.И. :**

1. По поводу содержания главы 1, логика в таком размещении материала была такой, чтобы собрать в этой главе, всю общую информацию, включая описание стендов и методик измерений, известные из литературы теоретические модели. Следующие главы содержат специальный материал, включающий полученные экспериментальные результаты и их обсуждение.

Что касается второй части замечания, все используемые обозначения объяснялись в тексте в процессе изложения материала, хотя согласен, что общий список обозначений делает работу с текстом диссертации более удобной.

2. На графиках представлены данные по пульсационной составляющей давления, которая связана с прецессирующим вихревым ядром, т.е. без учета средней по времени составляющей. Это является одним из основных преимуществ данной методики с использованием акустического датчика, который естественным образом убирает составляющую, связанную с общим закрученным потоком, и регистрирует только давление, индуцированное ПВЯ. Т.е. выделение вихревого ядра производится автоматически. Согласен с замечанием в той части, что, приводя данные по мгновенному (фазовоосредненному) распределению давления, нужно было указать полное ли это давление или только флуктуационная часть.

3. Вывод об эффективной сепарации воздуха внутрь вихревого ядра был сделан при интерпретации результатов измерений интегральных характеристик закрученного потока, как наиболее вероятная причина, объясняющая особенности полученных зависимостей. Конечно, для окончательного подтверждения выводов, работа должна быть продолжена в плане измерений локального газосодержания, хотя это является нетривиальной задачей. Проведение таких экспериментов планируется в ближайшем будущем.

4. С замечанием согласен

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:** Михаил Михайлович, Вы согласны с ответами на замечания?

**д.ф.-м.н. Катасонов М.М.:** Да, полностью согласен.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:** Спасибо. Официальный оппонент д.ф.-м.н. Никулин В.В., институт гидродинамики СО РАН им. М.А. Лаврентьева.

**д.ф.-м.н. Никулин В.В.:** (зачитывает отзыв, отзыв положительный прилагается).

Замечания:

1. В списке цитированной литературы нет работы Никулин, ТиА, 2000, в которой построена модель гидравлического прыжка на струе, распространяющейся вдоль оси вращающейся жидкости. В частности, ее предсказания хорошо совпали с экспериментальными наблюдениями за движением гидравлического прыжка на полом вихре Kedrinskii, Nikulin, JFM, 1999. Используя результаты работы можно было выполнить более целенаправленные эксперименты, связанные с исследованием движения прыжка вихря (глава 2), и тем самым расширить возможности трактовки полученных экспериментальных результатов. В диссертации обсуждение ограничено качественным уровнем.

2. Было бы полезно сравнить результаты исследования зависимости частоты прецессии, выраженной через число Струхаля (глава 3), от параметра закрутки с результатами других авторов, например, Ахметов, Никулин, МЖГ, 2004. Хотя число Струхаля в диссертации и указанной работе определялось через разные характерные скорости, можно было сделать перерасчет. Такое сравнение полезно, поскольку диапазон изменения параметра закрутки в них различен, что могло позволить экстраполировать данные, изложенные в диссертации на существенно большие его значения.

3. Отметим упущения в обозначениях. В диссертации (глава 3) и автореферате не объясняется, что такое параметр ****, характеризующий содержание горючего в смеси с воздухом. Кроме того в автореферате не определено по каким параметрам определяется число Струхаля. Эти недочеты затрудняют восприятие.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:** Спасибо, Виктор Васильевич. Сергей Иванович, пожалуйста, Ваши ответы на замечания.

**Соискатель Шторк С.И.:**

1. Согласен с замечанием. На то время, когда проводились эксперименты с распадом, я был ограничен в использовании измерительной техники, способной получить количественные данные по распределениям скоростей. Поэтому представленный материал по распаду вихря основан главным образом на качественных результатах визуальных исследований. Сейчас у нас появилась техника для бесконтактных количественных измерений. Поэтому можно будет сравнить полученные результаты с упомянутыми теоретическими представлениями. Я согласен сотрудничать в этом направлении.

2. Я думаю, что такое сравнение провести полезно в любом случае. Если оно даст приемлемое соответсвие можно будет даже подумать о подготовке совместной публикации.

3. С замечанием согласен. Обозначение ****, которое определяетсоотношение топлива и воздуха, было приведено в моей презентации.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:**Спасибо. Сергей Иванович, Виктор Васильевич в своем отзыве говорил о статье в «Теплофизике и Аэромеханике», Вы ее смотрели, знаете про нее?

**Соискатель Шторк С.И.:** Да, знаю и даже цитирую в диссертации, правда по другому поводу. В ней действительно приводится объяснение эффектов, наблюдаемых в другой статье Кедринского и Никулина.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:** Виктор Васильевич, Ваше отношение к прозвучавшим ответам?

**д.ф.-м.н. Никулин В.В.:**Я согласен с ответами С.И. Шторка.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:**Спасибо. Переходим к выступлениям. Кто желает выступить? Профессор Анатолий ПетровичБурдуков.

**д.т.н. БурдуковА.П.**:ДиссертацияСергея Ивановича Шторка включает много направлений, которые трудно все сразу проработать. Тут были вопросы про параметры. Конечно, для любого процесса, связанного с горением, с двухфазными потоками, есть много критериев, определение которых представляет большую сложность. В Советском союзе работал большой центр в КазНИИ Энергетики, где при создании энергетических устройств применялись испытания на различных огневых стендах, в том числес масштабом, приближенном к натурномумасштабу. То же самое я видел, когда был с визитом на фирме Альстом, которая была пионером в мире в области циркулирующего кипящего слоя. Они делали котлы мощностьюдо 400 т пара в час. Для каждого диапазона мощности проводились детальные исследования на моделяхразличного масштаба, поскольку невозможно в критериальной форме получить на установке небольшого масштаба данные, которые можно корректно распространить на реальные котельные установки и реальные энергетические устройства. В этой связи, основное достижение Сергея ИвановичаШторка состоит в том, что он рассмотрел целый ряд очень интересных вопросов и получилновые эффекты, которые безусловно требуют дальнейшей интерпретации, дальнейшего исследования на укрупненных стендах, на промышленных установках. Сейчас пока делать выводы из полученных результатов наверно сложно. Например, он обнаружил в модели крупного котла Е-500, который широко используется на практике, структуры в виде стационарной двойной спирали. В реальном котле провести измерения очень сложно и поэтому трудно сейчас до конца оценить насколько эти результаты могут быть использованы в реальности. В реальном котле на 90 процентов работает лучистый теплообмен, влияние аэродинамики на который не является определяющим. Но проблемы золоотложения и другие важные вопросы могут быть решены при формировании вихревых структур. Я хотел бы еще сказать о самом соискателе. Я считаю, что нам повезло, что Сергей Иванович несколько лет назад возглавил в нашем ИнститутеЛабораторию экологических проблем теплоэнергетики. Он привнес новые идеи и направления, связанные с исследованием структуры пламен и процессов переноса, вихревых структур, оснастил установки современными методиками, привлек много молодежи. Проведение эксперимента, особенно в огневых установках, моделях газовых турбин со сложными течениями и процессами очень тяжелое и трудоемкое занятие. Поэтому то, что Сергею Ивановичу не все удалось обработать и интерпретировать, можно понять. Я считаю, что мы безусловно должны поддержать эти очень серьезныеисследования.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:** Спасибо. Профессор Баев Владимир Константинович.

**д.т.н. Баев В.К.**: Сразу хочу сказать, что я проголосую за эту работу, уважая мнение Института, который признал эту работу и рекомендовал ее к защите. Но есть критические моменты,о которых я хотел бы сказать. Во-первых, наблюдая за более молодым поколением исследователей, я вижу, что придается излишне большое значение внешним эффектам, вещам, про которые непонятно имеют ли практическое значение. При этомто, что было сделано раньше выпадает из поля зрения. Я хотел бы еще сказать по поводу выбора условий моделирования, анализа критериальных зависимостей. Для камер сгорания известно, что число Рейнольдса является не основным параметром. Основными являются относительный подогрев и относительный коэффициент турбулентного обмена. С этой точки зрения можно говорить о роли вихревых структур. Это все известно. Приведу пример:в 1959 г. вышла книга «Рабочийпроцесс ирасчет камер сгорания газотурбинных двигателей», гдеописываются исследования камер сгорания с использованием завихрителя, создающего закрутку, за счет чего образуется центральная зона рециркуляции. Приведен расчет на основе теории Абрамовича, который совпадал с экспериментом. Как только начинается горение, картина резко меняется в части геометрии зоны рециркуляции. Более того, Михаил Федорович Жуков с коллегами проводил критериальную обработку результатов по закрученным течениям в плазмотроне. Они провели анализ по всем критериям и обнаружили, что размер зоны рециркуляции изменяется и от числа Маха, несмотря на дозвуковые скорости. Обычно говорят, что сжимаемость проявляется для чисел Маха 0.3 и выше, хотя может проявляться и раньше, если имеет место относительный подогрев. То же самое мы наблюдали, когда имели дело со стабилизацией пламени с закруткой или просто с использованием плохообтекаемого тела. Что касается «холодного» моделирования, оно применяется для исследования течения в мартеновских печах и других топках для того, чтобы получить общую картину. Детали процесса конечно нельзя получить и, соответственно, нельзя делать практические выводы только на основе «холодного» моделирования. Я не говорю, что все это должно быть сделано в диссертации, но диссертант должен был более конкретнообозначить возможности использованных подходов. Так же как более четко отвечатьна вопросы по поводу термодинамически равновесных процессов, поскольку это важно для технологических показателей практических устройств.В заключение я хотел бы пожелать будущему доктору наук оглядеться вокруг и использовать в своей работе материалы предыдущих исследований.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:** Спасибо. Есть еще желающие. Профессор Алексеенко Сергей Владимирович.

**д.ф.-м.н. Алексеенко С.В.:** Сергей Иванович был моим студентом с 3-го курса. Когда мы занялись моделированием процессов энергетики с большим удивлением обнаружили многие новые структуры. И с тех пор эти результаты являются первыми – это и двойные спирали, одиночные спирали, многое, связанное с распадом. Удивительно, что до сих эти структуры так и остаются почти неисследованными. И то, что говорилось в обсуждениях и вопросах, это все остается предметом исследования. Я считаю, что Сергей Иванович является классиком и по гидродинамике, поскольку эти спиральные структуры являются классическими вихревыми нитями. И в тоже время они являются важными для энергетики, поскольку эти структуры имеют принципиальное значение для интенсификации теплообмена, для объяснения того, что происходит в топках. Сейчас те исследования, которые проводятся в Институте уже с горением, четкопоказывают, как влияет горение на поведение вихревых структур. Поэтому, несомненно, эти результаты следует признать на уровне докторской степени, здесь вопросов нет. Самым главным является то, что эти результаты являются основой для дальнейших исследований. Нет никакого сомнения, что в этих направлениях будут еще получены совершенно новые результаты. Т.е. с одной стороны можно оценивать эту работу как законченное исследование, потому, что такие структуры были впервые обнаружены. В то же время эта работа является основой для дальнейшего изучения на новом уровне. Исходя из этого я рекомендую поддержать работу.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:** Спасибо. Желающих выступить больше нет. Тогда я в заключение хотел бы сказать несколько слов. Сергея Ивановича и его деятельность я знаю с момента, когда он пришел в наш Институт. Это было где-то 25 лет назад. Я внимательно смотрел за этими работами, поскольку мы вместе Эдуардом Петровичем Волчковым и другими коллегами занимались подобными исследованиями, хотя и в другом плане, наверно ближе к практическому направлению.Прозвучавшие замечания Владимира Константиновича, наверно имеют право на жизнь. В последнее время действительно появилась тенденция в работах приданиивнешнего лоска, не заботясь о предыстории вопроса, внутреннем содержании. Ради объективности нужно сказать, что такие случаи были и раньше, хотя наверно они были менее выражены. Но я не сказал бы, что у Сергея Ивановича именно такая ситуация. Можно констатировать, что для степени доктора наук необходимые компоненты есть, действительно обнаружены новые интересные явления, которые взбудоражили не только научную общественность здесь у нас в Академгородке, но и без преувеличения во всем мире. Хотя, и об этом было сказано, конечно нужно дальнейшее развитие этой работы в части, касающейся более общей картины процессов, более общих закономерностей, получения обобщающих критериев и соотношений. Здесь нужно правильно понять, что это определенный этап и Сергей Иванович еще может очень много сделать в этом направлении. По своей квалификации, полученным результатам, по уровню публикаций в очень хороших журналах, я думаю, никаких вопросов нет. Я считаю, что мы должны поддержать эту работу.

Сергей Иванович, вам предоставляется заключительное слово.

**Соискатель Шторк С.И.:** В заключение я хотел бы выразить благодарность своим коллегам и соавторам, которые принимали участие в моей работе.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:** Спасибо.Владимир Васильевич огласитпредлагаемый состав счетной комиссии.

**Ученый секретарь диссертационного совета д.ф.-м.н. Кузнецов В.В.:** Предлагается следующая счетная комиссия: д.т.н. Баев В.К., д.т.н. БурдуковА.П. и д.т.н. Гогонин И.И.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:** Кто за такой состав? Принято единогласно.

Объявляется перерыв для проведения тайного голосования по вопросу о присуждении Шторку Сергею Ивановичу ученой степени доктора физико-математических наук.

ПОСЛЕ ПЕРЕРЫВА

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:** Слово предоставляется председателю счетной комиссии профессору БаевуВ.К.

**Д.т.н. БаевВ.К.** зачитывает протокол заседания счетной комиссии №4.

**ПРОТОКОЛ №4**

**ЗАСЕДАНИЯ СЧЕТНОЙ КОМИССИИ,**

**ИЗБРАННОЙ ДИССЕРТАЦИОННЫМ СОВЕТОМ**

**Д 003.053.001**

от 16сентября 2015г

Состав избранной комиссии: д.т.н. Баев В.К. - председатель, члены комиссии: д.т.н. БурдуковА.П., д.т.н. Гогонин И.И.

Комиссия избрана для подсчета голосов при тайном голосовании по вопросу о присуждении ШторкуСергеюИвановичу ученой степени доктора физико-математических наук.

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 26 человек

На срок действия номенклатуры специальностей научных и научно-педагогических работников

В состав диссертационного совета дополнительно введены 0 человек.

Присутствовали на заседании 23 члена совета, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации – 7.

Роздано бюллетеней – 23.

Осталось не розданных бюллетеней – 3.

Осталось в урне бюллетеней – 23.

Результаты голосования по вопросу о присуждении учёной степени доктора физико-математических наук ШторкуСергеюИвановичу:

За – 23

Против – 0

Недействительных бюллетеней – 0.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:** Если ли вопросы к председателю счетной комиссии? Нет. Прошу утвердить результаты голосования. Принято единогласно.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:** Необходимо утвердить заключение. Проект заключения был подготовлен д.т.н. Тереховым В.И., д.т.н. Бурдуковым А.П. и д.ф.-м.н. ЯворскимН.И. Какие есть замечания по проекту заключения?

**Ученый секретарь диссертационного совета д.ф.-м.н. Кузнецов В.В.:** Сократить объем текста.

**Председательствующий на заседании диссертационного совета д.т.н. Терехов В.И.:** Я тоже считаю, что немного завышенный объем. Есть принципиальные возражения по содержанию?

Нет. Проголосуем за заключение. Принято единогласно.

**Заключение диссертационного совета Д 003.053.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им.
С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, ведомственная принадлежность ФАНО России, по диссертации на соискание ученой степени доктора наук**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 16.09.2015 г. №4

О присуждении Шторку Сергею Ивановичу гражданину Российской Федерации ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Экспериментальное исследование закрученных потоков с формированием крупномасштабных вихревых структур» по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 06.05.2015 г., протокол № 1 диссертационным советом Д 003.053.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН), ведомственная принадлежность ФАНО России, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 1, приказ о создании диссертационного совета №105/НК от 11.04.2012 года.

Соискатель Шторк Сергей Иванович, 1961 г. рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Экспериментальное исследование вихревых структур в тангенциальных камерах» защитил в 1994 году, в диссертационном совете,созданном на базе ИТ СО РАН, работает заведующим лабораторией в ИТ СО РАН.

Диссертация выполнена в Лаборатории экологических проблем теплоэнергетики ИТ СО РАН.

Официальные оппоненты: Катасонов Михаил Михайлович, д.ф.-м.н., ФГБУН Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, ведущий научный сотрудник Лаборатории аэрофизических исследований дозвуковых течений, Никулин Виктор Васильевич, д.ф.-м.н., ФГБУН Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук, заведующий Лабораторией вихревых движений жидкости и газа, Кузма-Кичта Юрий Альфредович, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Национальный исследовательский университет «МЭИ», профессор Кафедры инженерной теплофизики, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация, ФГБУН Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН), г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Алексеем Юрьевичем Вараксиным, д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН, заведующим Отделом гидродинамических и тепловых процессов в двухфазных потоках, указала: «полученные результаты экспериментальных исследований важны для понимания общих закономерностей образования, поведения, взаимодействия и устойчивости вихревых структур. Обнаруженные новые физические эффекты… стимулируют развитие теоретических подходов и численных кодов для описания динамики вихревых структур… и служат эмпирической базой для проверки и верификации результатов теоретического анализа и численного моделирования… Можно отметить достаточно обширный спектр задач и объектов исследования... Рабочие участки отличаются разной геометрией и способом создания закрутки, типом рабочей среды (жидкость, воздух, реагирующее течение, газожидкостный поток). В опытах применялся широкий набор измерительных систем... Методики, разработанные автором,… позволили получить уникальные данные по мгновенной структуре нестационарного течения с ПВЯ… Диссертация С.И. Шторка… может рассматриваться как завершенная научно-исследовательская работа, которая выполнена на высочайшем профессиональном уровне… Результаты диссертации могут быть использованы в ИТ СО РАН, ИТПМ СО РАН, МГТУ им. Баумана, ОАО ВТИ, ОИВТ РАН, ОАО ЭНИН, НИУ МЭИ, ОАО «Силовые машины»».

Соискатель имеет 150 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 102 работы, опубликованных в рецензируемых научных изданиях 40, 33 из которых в журналах из перечня ВАК (содержат в сумме более 200 страниц). Вклад автора в опубликованных работах состоит в постановке задач, получении, обработке и анализе экспериментальных результатов. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

* Alekseenko S.V., Kuibin P.A., Okulov V.L., Shtork S.I. Helical Vortices in Swirl Flow // JFM. – 1999. – Vol. 382. – P. 195–243.
* Anacleto P.M., Fernandes E.C., Heitor M.V. and Shtork S.I. Swirl flow structure and flame characteristics in a model lean premixed combustor // Combust. Sc. Technol. – 2003. – V. 175, – N 8. – P. 1369 – 1388.
* Cala C.E., Fernandes E.C., Heitor M.V., Shtork S.I. Coherent structures in unsteady swirling jet flow // Exp. Fluids. – 2006. – Vol. 40, – No. 2. – P. 267–276.
* Alekseenko S.V., Kuibin P.A., Okulov V.L., Shtork S. I. Vortex precession in a gas-liquid flow // Heat Transfer Research. - 2010. – Vol. 41(4). – P. 465–478.
* Алексеенко С.В., Куйбин П.А., Окулов В.Л., Шторк С.И. Стационарный вихрь с переменной винтовой симметрией // Докл. РАН. – 1995. – Т. 345, №5. – С. 611–614.

На диссертацию и авторефератпоступило 10 положительных отзывов. В отзывах Устименко А.Б., д.т.н., заведующего Отделом теплофизики Научно-исследовательского института экспериментальной и теоретической физики Казахского национального университета им. аль-Фараби и Мессерле В.Е., д.т.н., профессора, заместителя председателя Национального научного совета Республики Казахстан «Энергетика и машиностроение», Мурко В.И., д.т.н., профессора, директора ЗАО НПП Сибэкотехника», Сонина В.И., к.т.н., ведущего конструктора СКБ «Гидротурбомаш» ОАО «Силовые машины», Дубнищева Ю.Н., д.т.н., главного научного сотрудника ИТ СО РАН, замечаний нет. Исаев С.А., д.ф.-м.н., профессор Кафедры механики Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации отмечает, что «Работа сформулирована, как не имеющая предшественников и прототипов. Хотелось бы уточнить личные достижения автора. Опять же целесообразно конкретизировать пределы изменения определяющих параметров. Нет комментариев по внешней турбулентности и по масштабу турбулентности». В отзыве Лободы Е.Л., д.ф.-м.н., заведующего Кафедрой физической и вычислительной механики ММФ Томского государственного университета отмечено, что «на стр. 27 автор говорит о том, что «Неожиданным результатом является, что горение также не оказывает существенного влияния на частоту прецессии» и дальше дает объяснения данного результата. Полагаю, что для лучшего понимания полученного явления было бы полезным проанализировать пульсации термодинамических параметров, их частоты и их связь с частотой прецессии». Штым А.Н., д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой теплоэнергетики и теплотехники Инженерной школы Дальневосточного федерального университета отметил, что «Геометрический параметр закрутки потока S не отражает всего многообразия генерации концентрированного вихревого движения. Нет претензий к сделанному диссертантом графическому обобщению опытных данных от S, но необходим поиск более универсальной величины и ее численная увязка с ПВЯ. Вывод о том, что «горение не оказывает существенного влияния на частоту прецессии» требует уточнения, так как имеет большое практическое значение. В наших исследованиях камер с комбинированной генерацией вихря, мы пришли к заключению о существенном влиянии горения на аэродинамику приосевой зоны циклонно-вихревых камер. Возможно этот вывод справедлив только для частных условий генерации вихря при сжигании топлива». Заместитель генерального директора, технический директор ООО «Зио-Котэс», д.т.н., Серант Ф.А. отмечает, что «в автореферате отсутствуют данные по влиянию крутки потока на протяженность и поперечные размеры зоны возвратного течения, радиуса максимума осевой скорости и др. Это особенно интересно знать при разных конструкциях дна и выхода камеры». Кулагин В.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Теплотехники и гидрогазодинамики Сибирского федерального университета отметил, что «Суждение об отсутствии влияния горения на частоту прецессии вызывает сомнение и требует дополнительного изучения. Цель диссертации сформулирована неудачно - диссертация (от лат. Dissertation – исследование, рассуждение), таким образом имеем тавтологию - целью исследования «является детальное исследование …»; цель работы не ориентирована на решение проблемы, которая так и не сформулирована в самом автореферате. Пункты научной новизны сводятся к перечислению полученных фактов и обнаруженных эффектов и не позволяют судить об их значимости в том или ином случае, а также о том, чем полученный результат превосходит ранее известные данные (кстати, в автореферате нет упоминания об исследователях, на чьих идеях и достижениях базируется данная работа, что позволило бы судить о степени важности и значимости результатов, достигнутых самим автором); в автореферате даже не сделана попытка обобщения полученных экспериментальных данных в виде математической модели и сравнения результатов численных исследований с экспериментальными. Сделанные замечания являются вполне естественными для этого значительного труда, который свидетельствует о важности полученных результатов на перспективу». Заведующий кафедрой теоретической и промышленной теплотехники, Энергетического института Томского политехнического университета (ЭНИН ТПУ), профессор, д.ф.-м.н., Кузнецов Г.В. и заведующий кафедрой парогенераторостроения и парогенераторных установок ЭНИН ТПУ, профессор, д.т.н., Заворин А.С. отметили, что «Весьма пространно изложение основных результатов и выводов (стр. 36-40), которое по своему стилю представляет своего рода «автореферат автореферата» и не концентрирует читающего на главных положениях. В разделе «Научная и практическая значимость» (стр. 6, 7) рекомендации к практическому использованию даны в виде общих формулировок, которые для практической реализации при создании топливосжигающих установок должны быть более конкретными».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются признанными специалистами в областях науки, непосредственно связанных с темой диссертации, а именно: д.ф.-м.н. Катасонов М.М. – аэрофизических методов исследований, горения, экспериментального исследования когерентных вихревых структур; д.ф.-м.н. Никулин В.В. – теоретических и экспериментальных исследований гидродинамики вихревых течений; д.т.н., профессор Кузма-Кичта Ю.А. – исследовании закрученных потоков в энергетических тепломассообменных аппаратах. Ведущая организация известна своими исследованиями, связанными с многофазными течениями, горением, закрученными потоками. В ней работают специалисты (чл.-корр. РАН Вараксин А.Ю., д.ф.-м.н. Маликов М.М., д.т.н. Карпухин В.Т. и др.), которые могут дать полноценную и всестороннюю оценку научной и практической значимости полученных в диссертации результатов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработана научная концепция физического моделирования закрученных потоков на основе выделения крупномасштабных концентрированных вихрей, которые определяют глобальную структуру течения. Установлены определяющие закономерности генерации, взаимодействия и устойчивости крупномасштабных вихревых структур, включая структуры в химически реагирующих и многофазных средах. Предложен нетрадиционный подход для генерации крупномасштабных вихревых структур с различной морфологией и типом винтовой симметрии за счет создания специальных граничных условий. На основе широкого комплекса экспериментальных исследований подтверждено наличие самоиндуцированного движения винтовых вихревых нитей, за счет которого реализуются как прецессирующие спиральные вихревые структуры, так и стационарные вихри c подавлением самоиндуцированной скорости внешним потоком и за счет взаимодействия вихря с твердыми поверхностями. В результате анализа свойств винтовой геометрии вихревых структур введены новые понятия для интерпретации и анализа нестационарных явлений в закрученных потоках, включая течения реагирующих и многофазных сред.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что на основе результатов экспериментов доказаны базовые положения теории винтовых вихревых структур. Применительно к проблеме исследования пространственно сложных крупномасштабных вихревых структур для получения обладающих новизной результатов эффективно использован комплекс экспериментальных методик, включающий в себя системы диагностики мгновенной структуры течения на основе скоростной визуализации, бесконтактного метода лазерно-допплеровской анемометрии, миниатюрных акустических датчиков для измерения локальных пульсаций давления, специальной процедуры обработки сигналов. Определены условия формирования серии стационарных винтовых вихрей, в том числе впервые обнаружен вихрь со сменой винтовой симметрии и двойной спиралью. Выделено семейство устойчивых форм распада вихря в виде прецессирующих одинарной и двойной спирали, установлены условия генерации и особенности проявления бегущих возмущений на вихревой нити – спирального солитона и бегущего распада. Дано объяснение выявленного постоянства частоты прецессии при переходе от изотермического потока к потоку с горением и параболической зависимости безразмерной частоты прецессии вихревого ядра от параметра крутки, связанных с нестационарными режимами вихревого течения в модели низкоэмиссионной камеры сгорания. Впервые выделено семейство крупномасштабных вихрей, включая основной прецессирующий вихрь и вторичные винтовые вихри, которые образуют дипольную пару в виде локально параллельных вихревых трубок с циркуляциями разного знака. Обнаружено скачкообразное изменение характеристик прецессирующего вихря при небольшой подаче газа в поток жидкости и подавление автоколебаний при увеличении расхода газа. Результаты экспериментов стимулируют развитие теоретических подходов и численных кодов для описания динамики вихревых структур и служат эмпирической базой для проверки и верификации результатов теоретического анализа и численного моделирования.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что полученные в работе экспериментальные данные могут быть основой для разработки методов управления аэродинамикой камер сгорания, организации оптимальных условий для повышения устойчивости и эффективности горения в котельных и газотурбинных установках. Результаты исследований двухфазного закрученного течения могут использоваться в гидроэнергетике, в частности, для борьбы с автоколебаниями вихревого жгута за рабочим колесом гидротурбины. Результаты диссертации могут быть использованы в ИТ СО РАН, ИТПМ СО РАН, МГТУ им. Баумана, ОАО ВТИ, ОИВТ РАН, ОАО ЭНИН, НИУ МЭИ, ОАО «Силовые машины»».

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что экспериментальные данные получены с использованием апробированных методов измерений, сертифицированного научного оборудования и поверенных контрольно-измерительных приборов. Достоверность результатов подтверждается повторяемостью результатов измерений, анализом погрешностей измерений, сравнением полученных результатов с расчетными и экспериментальными данными других авторов. Приведенные в диссертации результаты получили достаточную апробацию на многочисленных российских и международных конференциях, опубликованные работы автора широко цитируются в ведущих научных изданиях.

Личный вклад соискателя состоит в проектировании и монтаже экспериментальных стендов и рабочих участков, определении диапазонов изменения параметров и режимов работы модельных рабочих участков, создании и калибровке измерительных зондов и датчиков, отладке и настройке диагностических систем, проведении экспериментов, обработке и анализе экспериментальных результатов, интерпретации полученных результатов, сопоставлении результатов с опытными и расчетными данными других авторов, подготовке научных публикаций и докладов на конференциях.

На заседании 16.09.2015 г. диссертационный совет принял решение присудить Шторку С.И. ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человек, из них 7 докторов по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 23, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председательствующий на заседании

диссертационного совета

д.т.н., профессор Терехов Виктор Иванович

Ученый секретарь

диссертационного совета

д.ф.-м.н., профессор Кузнецов Владимир Васильевич

«\_\_\_\_» октября 2015 г.