

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.210.03 НА БАЗЕ  
ФГБОУ ВО «РЫБИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.А. СОЛОВЬЕВА»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 26 июня 2019 № 34

О присуждении Бадерникову Артёму Витальевичу, гражданину РФ  
ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Модифицированный метод расчёта горения в вихревых  
противоточных горелочных устройствах» по специальности 01.04.14 –  
«Теплофизика и теоретическая теплотехника» принята к защите 24.04.2019,  
протокол № 33-п диссертационным советом Д 212.210.03 на базе ФГБОУ ВО  
«Рыбинский государственный авиационный технический университет имени  
П.А. Соловьева», Министерства науки и высшего образования Российской  
Федерации, 152934, Россия, Ярославская область, г. Рыбинск, ул. Пушкина,  
д. 53, приказ №714/нк от 02.11.2012 г.

Соискатель Бадерников Артём Витальевич 1978 года рождения. В 2001  
году окончил магистратуру Воронежского государственного университета по  
направлению подготовки «Механика». В 2012 году окончил обучение в  
очной аспирантуре ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный  
технический университет имени П.А. Соловьева» по специальности 01.04.14  
«Теплофизика и теоретическая теплотехника». На момент защиты  
диссертации работает на ПАО «ОДК-Сатурн» в должности ведущего  
специалиста.

Диссертация выполнена на кафедре «Общая и техническая физика»  
ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический  
университет имени П.А. Соловьева».

Научный руководитель – заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Общая и техническая физика» Пиралишвили Шота Александрович.

Официальные оппоненты:

Снегирёв Александр Юрьевич, доктор технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Институт прикладной математики и механики, профессор кафедры «Гидроаэродинамика, горение и теплообмен», г. Санкт-Петербург;

Зубрилин Иван Александрович, кандидат технических наук, ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», научно-образовательный центр газодинамических исследований, инженер лаборатории моделирования процессов горения, г. Самара,

дали положительные отзывы на диссертацию

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва в своем положительном заключении, подписанном Алексеем Юрьевичем Чирковым, заведующим кафедрой «Теплофизика», Гришиным Юрием Михайловичем, доктором технических наук, профессором, профессором кафедры «Теплофизика», и утвержденном Владимиром Николаевичем Зиминым, доктором технических наук, профессором, первым проректором – проректором по научной работе ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», указала, что представленная на отзыв диссертация Бадерникова А.В. является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи по разработке метода расчёта горения в вихревых противоточных горелочных устройствах на основе трёхмерного численного решения уравнений Навье-Стокса и химической кинетики.

Решенная задача имеет существенное значение для развития соответствующей отрасли знаний, а именно разработки высокоэффективных горелочных устройств на основе встречно направленных закрученных ограниченных потоков.

Соискатель имеет 14 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 9 работ, из них опубликованных в рецензируемых научных изданиях 2 (из них 1 статья в журнале, включенном в перечень ВАК РФ, 1 статья в зарубежном рецензируемом электронном издании, индексируемом в базе данных Scopus), в которых авторская доля составляет 0,27 п.л. Научные публикации соискателя направлены на исследование структуры течения в вихревом противоточном горелочном модуле; оценку влияния моделей турбулентности, химической кинетики и теплообмена на точность предсказания течения потока в вихревой камере. Публикации выполнены в коллективе авторов совместно с научным руководителем. Наиболее значимыми работами являются:

1) **Бадерников, А.В.** Численное исследование интегральных газодинамических характеристик противоточного горелочного модуля с использованием анизотропных моделей турбулентности [Текст] / Ш.А. Пиралишвили, А.И. Гурьянов, А.В. Бадерников // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева. – 2011. – №.3-1(27), С. 123-130.

2) **Badernikov, A.V.** Results of Numerical Modeling of Combustion Processes in a Vortex Chamber [Электронный ресурс] / A.V. Badernikov, S.A. Piralishvily, A.I. Guryanov // International Conference on Combustion Physics and Chemistry. MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 209. – 00023. – 5 p. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201820900023>

3) **Badernikov, A.V.** Study of relations between kinetics of methane-air mixture combustion and modeling of flame parameters using ANSYS CFX software (тезисы доклада) [Текст]/ A.V. Badernikov, S.A. Piralishvily // 9th

International seminar on flame structure. Book of Abstracts, Novosibirsk, Institute of Chemical Kinetics & Combustion SB RAS. – 2017. – p. 35

На автореферат поступило 15 положительных отзывов:

1) АО «Конструкторское бюро химавтоматики», г. Воронеж, отзыв подписан заместителем начальника конструкторско-расчётного отдела, кандидатом технических наук Гарберой Станиславом Николаевичем и главным специалистом Гуменным Андреем Викторовичем.

Замечания:

– в автореферате не приведены уровни давлений, при которых проведены верификационные и экспериментальные исследования.

2) ЗАО «АПТ-Центр», г. Рыбинск, отзыв подписан генеральным директором, доктором технических наук Кузменко Михаилом Леонидовичем.

Замечания:

– из автореферата неясно, подходит ли данный метод для моделирования КС ГТД при давлениях и температурах характерных для современных двигателей?

– возможно ли расширение разработанного метода для оценки эмиссии загрязняющих веществ, полноты сгорания и т.п?

3) Компания Mentor Graphics a Siemens Business (Ментор Графикс Девелопмент Сервисез Лимитед), г. Москва, отзыв подписан заместителем директора по разработке программного продукта FloEFD, кандидатом физико-математических наук Думновым Геннадием Евгеньевичем; руководителем группы физического моделирования FloEFD, кандидатом физико-математических наук Муслеваем Александром Валентиновичем; ведущим специалистом группы моделирования FloEFD, кандидатом физико-математических наук Стрельцовым Вячеславом Юльевичем.

Замечания:

– из содержания автореферата трудно понять целесообразность использования детального кинетического механизма, приводящего, по

нашему мнению, к существенным вычислительным затратам. Известно, что в случаях, когда процесс горения лимитируется процессом смесеобразования, для получения адекватных энергетических характеристик можно использовать либо равновесный подход, либо упрощенные кинетические механизмы. Кроме того, необходимо отметить, что из автореферата диссертации неясно, каким образом была выбрана модель расчёта излучения Discrete Transfer и почему оптимальным автор считает именно 32 луча.

4) ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», г. Москва, отзыв подписан начальником отдела рабочих процессов ЖРД и ДУ отделения 1, доктором технических наук Сидлеровым Дмитрием Анатольевичем.

Замечания:

– в описании главы 3 указано, что при расчётах задачи горения в вихревой противоточной камере сгорания проведены расчёты с использованием нескольких моделей турбулентности, но на рисунке 6 приведены только результаты для модели  $k-\varepsilon$  СС. Представляется целесообразным привести на рисунке результаты, полученные на модели рейнольдсовых напряжений и двухпараметрической модели без коррекции кривизны линии тока для сравнительной оценки;

– в описании 5-й главы указано, что «Возможная причина повышенной расчётной температуры стенок в точке 3 – модель горения BVM не учитывает погасание пламени в окрестности стенок, что приводит к их повышенной температуре относительно эксперимента». В то же время, в описании 4-й главы указано, что в методе моделирования используется «...модель горения Burning Velocity Model с детальным механизмом химической кинетики.....». Уравнения химической кинетики содержат зависимость скорости химической реакции от температуры аррениусового типа и, следовательно, способны воспроизводить явление погасания пламени. Данное несоответствие требует объяснения.

5) ООО «Кинтех Лаб», г. Москва, отзыв подписан руководителем подразделения, кандидатом физико-математических наук, Заевым Иваном Александровичем.

Замечания:

– результаты расчетов вихревых горелочных устройств приводятся в сравнении с экспериментальными данными. Во введении автором упомянуты критериальные зависимости, используемые при проектировании вихревых горелочных устройств. Отображение или демонстрация результатов, предсказываемых с помощью критериальных зависимостей в сравнении с экспериментальными данными и результатами моделирования позволило бы четко указать место и пользу разработанной методики в инженерной практике.

6) ФГАОУ ВО «Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Уральский Энергетический Институт, г. Екатеринбург, отзыв подписан профессором, доктором технических наук, заведующим кафедрой «Турбины и Двигатели» Бродовым Юрием Мироновичем и преподавателем кафедры «Турбины и Двигатели» Серковым Сергеем Александровичем.

Замечания:

– не совсем ясно, почему применяется для расчета k-ε модель турбулентности с модификацией CC, а не модель турбулентности BSL RSM, исходя из рисунка 2;

– необходимо пояснить выбор модуля CFX для расчета горения, в то время как пакет fluent позволяет сделать более детальную настройку при постановке задачи. При этом пакет fluent является ориентированным именно на такие задачи.

7) ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, отзыв подписан доктором физико-математических наук, доцентом, заведующим кафедрой механики и компьютерного моделирования

Алексеем Викторовичем Ковалевым и кандидатом физико-математических наук, доцентом Евгением Николаевичем Коржовым.

Замечаний нет.

8) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, отзыв подписан доктором технических наук, профессором кафедры Теплофизики НИЯУ МИФИ Митрофановой Ольгой Викторовной.

Замечания:

– несмотря на большой объем проделанных вычислений с помощью десятка модифицированных современных моделей турбулентности и выбор предпочтительных моделей, «наилучшим» способом (с погрешностью достигающей 25%) описывающих сложные физические процессы, происходящие в вихревых противоточных горелочных устройствах, автором не предложено удовлетворительного физического объяснения эффекта смещения фронта пламени и систематического расхождения результатов расчетов и экспериментов по определению температуры в точке 3 на 90°С при числах Рейнольдса в диапазоне от  $10^4$  до  $2.5 \cdot 10^4$ .

9) АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, отзыв подписан доктором технических наук, начальником отделения 203 Сипатовым Алексеем Матвеевичем.

Замечания:

– несмотря на осознание автором важности учёта анизотропности турбулентности в расчётах закрученных потоков, при обосновании своего модифицированного метода расчёта, автор всё равно остаётся на позициях применения изотропной модели турбулентности, адаптированную к решению задачи с помощью подхода Спаларта и Шура, учитывающего кривизну линий тока. В силу этого, подход автора остаётся специфичным для решения данной задачи, который необязательно будет показывать хорошее соответствие с результатами измерений даже для подобного рода

задач. Поэтому данный подход необходимо использовать с осторожностью для решения других задач вычислительной газовой динамики. В плане разработки инженерной методики расчёта такой подход действительно востребован, т.к. позволяет существенно экономить время выполнения расчёта и, как следствие, время доводки изделия. С точки зрения общности получаемых результатов и возможности применения разработанной методики для расчёта других задач с закрученными потоками, целесообразно использовать модели, учитывающие анизотропность турбулентности, как минимум, для крупномасштабных вихрей;

– верификация разработанного автором модифицированного метода расчёта произведена только по распределению температуры стенки изделия. Объяснение различий в результатах измеренных и расчётных температур стенки носит гипотетический характер, не подкреплённый другими данными, т.к. верификация структуры течения внутри изделия (например, с помощью приёмников давления, расположенных на стенке) не проведена. Не представлены результаты расчётов и измерений полноты сгорания, которые также могут объяснить полученные расхождения.

10) ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН), г. Новосибирск, отзыв подписан директором ИТ СО РАН, членом-корреспондентом РАН, доктором физико-математических наук Марковичем Дмитрием Марковичем и ведущим научным сотрудником ИТ СО РАН, доктором физико-математических наук Дулиным Владимиром Михайловичем.

Замечания:

- в автореферате без дополнительных пояснений используются сокращённые обозначения, не являющиеся общепринятыми;
- отсутствует список библиографии с ссылками на источники экспериментальных данных, приведенных в автореферате. Также отсутствуют как математическая формулировка поправки к модели



турбулентности для учета кривизны линий тока, так и ссылка на работу Спаларта и Шура;

– из описания Рис. 7, остается неясным, чем обусловлен выбор данного перечня методов расчета, используемых для сравнения.

11) ПАО «Кузнецов», г. Самара, отзыв подписан первым заместителем генерального конструктора, кандидатом технических наук Чупиным Павлом Владимировичем; начальником расчётного сектора отдела камер сгорания, форсажных камер и выходных устройств Лавровым Валерием Николаевичем; ведущим инженером отдела перспективных разработок Бантиковым Дмитрием Юрьевичем.

Замечания:

– исследования проведены на гексаэдральной блочноструктурированной сетке, но не рассмотрены расчётные сетки другого типа, например, на основе тетраэдров с густым призматическим пограничным слоем;

– следует отметить невысокую плотность выбранной в расчёте сетки и ограниченный сектор модели в  $30^\circ$ . В работе не выполнена оценка влияния на точность расчётов плотности сетки;

– нет оценки перспективы использования нестационарных расчетов с применением моделей турбулентности типа LES для увеличения точности процессов смешения и горения в вихревых противоточных горелочных устройствах;

– недостатком работы является то, что апробация модифицированного метода проверяется только для одного варианта геометрических соотношений  $\bar{F}_C$ ,  $\bar{R}_d$  и  $\bar{L}_k$ .

12) ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, отзыв подписан проректором по научной работе, доктором технических наук, профессором, профессором кафедры ракетные двигатели Дроздовым Игорем Геннадьевичем; доктором технических наук, доцентом кафедры теоретической и промышленной теплоэнергетики Коноваловым Дмитрием Альбертовичем.

Замечания:

- не приведена методика и критерии, по которым происходил отбор моделей турбулентности при проведении верификационных расчётов;
- неясно, какие преимущества у выбранной автором модели горения BVM перед другими известными моделями горения;
- не приведен алгоритм практической работы с модифицированным методом расчета.

13) ООО «Саровский инженерный центр», Нижегородская область, п. Сатис, технопарк «Саров», отзыв подписан начальником отдела, кандидатом физико-математических наук Кудрявцевым Андреем Юрьевичем.

Замечания:

- из автореферата неясно, на каком этапе проектирования может быть применён предлагаемый автором метод и как он связан с известными методиками расчётов вихревых горелочных устройств на основе критериальных зависимостей и аналитических соотношений?
- несмотря на положительные результаты, полученные с помощью предложенного метода, представляется преждевременным ожидать достоверных результатов при применении нового метода для расчета других режимов течения газа в ВТ. Т.к. не стоит забывать, что результаты получены на основе модификации модели турбулентности типа RANS, и в диссертации есть совершенно правильные критические замечания автора по отношению к моделям турбулентности типа RANS;
- для анализа надежности и достоверности результатов, получаемых по новому методу, было бы интересно сравнить их с результатами расчета с использованием вихреразрешающих методов режимов течения, не рассмотренных другими авторами. Т.е. расширить перечень режимов, для которых была выполнена калибровка нового метода.

14) ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», г. Иваново, отзыв подписан профессором кафедры «Теоретические основы теплотехники», доктором технических наук, Бухмировым Вячеславом Викторовичем и доцентом кафедры «Теоретические основы теплотехники» кандидатом технических наук Корочкиной Еленой Евгеньевной.

Замечания:

– метод математического моделирования физических и химических процессов включает в себя математическое описание (математическую формулировку) процесса и метод решения. Автор разработал свой новый метод решения, используя при этом известные физико-химические детерминированные математические модели, поэтому претендовать на научную новизну в этом вопросе вряд ли корректно.

– верификация модели выполнена по температуре стенки горелки, поэтому следует пояснить моделирование теплопроводности в стенке горелки описание внешнего теплообмена корпуса горелки с окружающей средой.

– к сожалению, интересные результаты диссертационного исследования графически оформлены крайне неудачно.

15) ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Институт энергетики и перспективных технологий, г. Казань, отзыв подписан ведущий научным сотрудником лаборатории гидродинамики и теплообмена, старшим научным сотрудником, доктором технических наук Молочниковым Валерием Михайловичем.

Замечания:

– соискатель утверждает, что аэродинамические процессы, протекающие в вихревых противоточных устройствах, отличаются высокой интенсивностью турбулентности, наличием крупномасштабных трехмерных вихревых структур. Однако верификация разработанной в диссертации модели расчета (в т.ч. и при выборе моделей турбулентности) ограничивается сопоставлением результатов только по компонентам

осредненной скорости потока, статическому давлению и температуры. Как показывает практика, при хорошем согласовании этих параметров с экспериментом (другими расчетами), уровень пульсаций скорости может значительно отличаться от реальных величин;

– одним из достоинств работы является, на мой взгляд, создание стенда и получение собственных экспериментальных данных. Однако возможности стенда использованы недостаточно: получены лишь результаты измерений температуры наружной (?) поверхности камеры в 5 точках. Да и фотография стенда в автореферате мелкая и низкого качества.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их известностью своими достижениями в области математического моделирования динамики текучей среды с химическими реакциями в многофазных системах и при фазовых превращениях, наличием большого числа публикаций в российских и зарубежных изданиях в соответствующей сфере исследования, что позволяет им определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработана** и валидирована физико-математическая модель и модифицированный метод численного расчёта совместного переноса массы, импульса и энергии в многокомпонентной химически реагирующей смеси по проточной части вихревых противоточных горелочных модулей;

**предложена** к использованию и показана целесообразность применения поправки на кривизну линий тока разработанной Спалартом и Шуром, совместно с моделью турбулентности  $k$ - $\epsilon$ , ранее не применявшейся для расчёта вихревых противоточных горелочных модулей;

**доказано**, что модели рейнольдсовых напряжений и двухпараметрические модели турбулентности с поправкой на кривизну линий тока предсказывают возникновение свободного вихря в вихревой камере противоточного горелочного устройства, в отличие от широко используемых классических двухпараметрических моделей турбулентности.

**введено** понятие: система встречно направленных реагирующих закрученных потоков, позволяющее более точно описать процессы в вихревом противоточном горелочном устройстве.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказаны**

– возможность повышения точности расчёта окружной компоненты скорости в вихревой камере, где формируется движение потока по закону свободного вихря, с помощью моделей турбулентности RSM (рейнольдсовых напряжений) и двухпараметрической модели k-ε с коррекцией кривизны линий тока;

– возможность построения комбинации моделей турбулентности, горения, химической кинетики и излучения, которые формируют физико-математическую модель, основываясь на принципе отбора лучших в своём классе. Полученная физико-математическая модель даёт совпадающие с экспериментом результаты в отличие от других комбинаций отмеченных моделей.

**Применительно к проблематике диссертации результативно использованы** основополагающие законы термо- и газодинамики, положения теории подобия, современный тепловизионный метод измерения теплового состояния, методы статистической обработки результатов экспериментальных исследований, методы численного моделирования процессов газовой динамики, теплообмена и горения;

**изложены** особенности влияния моделей турбулентности, горения и теплообмена на результаты расчёта рабочего процесса противоточного горелочного модуля при одновременном сопоставлении с экспериментальными данными; основные положения разработанной физико-математической модели и модифицированного метода расчёта процесса горения в условиях противоточного течения в вихревой камере; доказательства влияния величины рассчитанной вихревой вязкости на формирование поля течения в вихревой камере по закону свободного вихря;

**Раскрыты** проблемы: качественного и количественного расхождения расчетной и экспериментальной величин окружной компоненты скорости в

вихревой камере при использовании стандартных двухпараметрических моделей турбулентности; несоответствия рассчитанной температуры продуктов сгорания при использовании одношагового кинетического механизма WD1 экспериментальным и теоретическим значениям в богатой и стехиометрической областях; влияния неадиабатности стенок вихревой камеры на температуру продуктов сгорания в ней;

**изучено** комплексное влияние моделей турбулентности, горения и излучения на точность результатов расчёта рабочего процесса противоточного горелочного модуля;

**проведена модернизация** экспериментальной установки для изучения теплового состояния противоточного горелочного модуля тепловизионным методом с целью получения экспериментальных данных для валидации разработанной физико-математической модели и модифицированного метода расчёта.

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

**разработан и внедрен** на ПАО «ОДК-Сатурн», изложенный в диссертации модифицированный метод расчёта горения в противоточном горелочном модуле, учитывающий кривизну линий тока, обусловленную закруткой потока в вихревой противоточной камере. Результаты диссертационной работы используются при подготовке студентов в ФГБОУ ВО РГАТУ имени П.А. Соловьева по направлениям 16.03.01 «Техническая физика» (профиль подготовки – Теплофизика) и 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль подготовки – Промышленная теплоэнергетика) в рамках преподавания дисциплины «СНИР в области компьютерного моделирования задач теплофизики»;

**определены** области практического применения моделей турбулентности и горения для моделирования вихревых противоточных горелочных устройств, обеспечивающие наилучшее совпадение результатов расчётов и экспериментов при одновременном обеспечении устойчивости расчёта;

**создана** система практических рекомендаций по настройкам расчётной модели, постановке задачи, выбору размеров сетки, оценке сходимости

решения, позволяющая применять результаты диссертационной работы на промышленных предприятиях и в учебном процессе;

**представлены** предложения по использованию разработанного модифицированного метода и физико-математической модели в процессе разработки вихревых противоточных горелочных устройств; направления развития темы диссертации для исследования нестационарных процессов с применением вихреразрешающих моделей турбулентности и уточнением динамики положения фронта пламени в противоточных горелочных устройствах; предложено использовать результаты диссертационной работы при проектировании нового класса противоточных горелочных устройств – камер сгорания ЖРД и других технических устройств, в которых присутствуют встречно направленные закрученные потоки и предъявляются жёсткие требования по температуре стенок.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

для **экспериментальных работ** результаты получены на сертифицированном оборудовании с применением достоверных методик постановки и проведения экспериментов;

**теория** построена на основополагающих законах сохранения массы, импульса, энергии с обоснованием выбора применяемых физических моделей, учетом сходимости решения модифицированного метода численного моделирования и совпадения результатов расчётов с экспериментом; положениях теории подобия;

**идея базируется** на анализе принципиальных свойств микро- и макроструктуры потока в вихревых камерах и выборе таких физико-математических моделей, комбинация которых наилучшим образом описывает рабочий процесс вихревых противоточных горелочных модулей;

**использованы** экспериментальные результаты, полученные в ведущих российских и зарубежных научных центрах, для валидационных исследований и выбора наилучшей физико-математической модели, а также для комплексного изучения совместного влияния моделей на результаты моделирования горения в противоточных горелочных устройствах. Экспериментальная работа, выполненная автором, использована для

подтверждения корректности разработанного модифицированного метода и физико-математической модели;

**установлено** качественное и количественное совпадение расчетных и экспериментальных результатов исследований течения нереагирующего потока в вихревой камере, а также горения газообразного топлива в вихревых противоточных горелочных устройствах;

**использованы** современные общепризнанные методики сбора и статистической обработки экспериментальных данных, обеспечивающие высокую воспроизводимость и достоверность результатов исследований.

**Личный вклад соискателя состоит в:** непосредственном участии во всех этапах диссертационного исследования, анализе научной литературы, выполнении численного моделирования на различных моделях горения и турбулентности для ряда известных вихревых устройств, обобщении и анализе полученных расчётных данных, постановке и проведении эксперимента по исследованию теплового состояния вихревого противоточного горелочного модуля, статистической обработке и интерпретации полученных в ходе исследований данных, написании и оформлении рукописи диссертации, подготовке основных публикаций по выполненной работе, внедрении результатов в производство на ПАО «ОДК-Сатурн» и учебный процесс на кафедре «Общая и техническая физика» ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева».

На заседании 26 июня 2019 года диссертационный совет Д 212.210.03 принял решение присудить Бадерникову А.В. ученую степень кандидата технических наук.

Диссертация Бадерникова Артёма Витальевича «Модифицированный метод расчета горения в вихревых противоточных горелочных устройствах» полностью соответствует паспорту специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней,



утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (п. 9), а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук за решение задачи, имеющей значение для разработки с помощью численного моделирования высокоэффективных горелочных устройств на основе встречно направленных закрученных ограниченных потоков, реализация которой представляет высокую значимость для развития энергетики и аэрокосмической техники РФ.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 7 докторов наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника», участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 12, против – 2, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

диссертационного совета,  
д.т.н., профессор



Кожина Татьяна Дмитриевна

Ученый секретарь

диссертационного совета,  
д.т.н., доцент

Гурьянов Александр Игоревич