

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Рыбинский государственный авиационный
технический университет имени П. А. Соловьева»

152934, Ярославская область, Рыбинский район,
город Рыбинск, улица Пушкина, 53
ОГРН: 1027601126057, ИНН: 7610029476, КПП: 761001001
Тел. +7 4855 28 04 70, факс: +7 4855 21 39 64
rector@rsatu.ru, www.rsatu.ru

02.12.2024 № 0804/3645

Кому: Учёному секретарю диссертационного совета 24.2.310.03
при Федеральном государственном бюджетном
образовательном учреждении высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»
к.т.н., Борисовой Светлане Дмитриевне

Куда: 420066, Республика
Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51, ауд. Д-224,
тел.: (843)519-42-58.

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Гурьянова Александра Игоревича

на диссертационную работу Заграй Ираиды Александровны «Методология комплексного исследования характеристик излучения и пирометрирования рабочих сред энергетических установок», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника.

Диссертационная работа изложена на 366 листах основного машинописного текста, содержит 174 рисунка, 63 таблицы и список использованных опубликованных работ из 397 наименований. Материалы диссертации изложены в 65 печатных работах, в т.ч. 23 статьях в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК. Основные результаты исследований доложены на научных конференциях и семинарах.

Диссертационная работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Вятский государственный университет».

Актуальность темы диссертации

Высокотемпературные процессы преобразования энергии составляют основу энергетики, авиации, транспорта и машиностроения. Проблема их изучения и интенсификации является одной из важных приоритетных направлений развития науки и техники.

Форсирование параметров цикла энергетических установок определяет рост удельной доли радиационных тепловых потоков в общем балансе энергии, переносимой за счет теплопроводности, конвекции и излучения.

Теоретическое и экспериментальное исследование переноса энергии излучения в поглощающих, рассеивающих и селективно излучающих средах; средах, содержащих частицы конденсированной фазы разного химического состава, представляет собой важную для практики задачу и крупную научную проблему.

Применение широко развитых оптических методов бесконтактного определения температуры реагирующих потоков требует использования величин интегральной излучательной способности, которые для многофазных и многокомпонентных сред

сложного химического состава в интервале длин волн и температуры, практически отсутствуют в литературных источниках и справочных данных.

Автором выполнены исследования, позволившие повысить точность определения спектрального состава теплового излучения и температуры продуктов сгорания углеводородных топлив за счет разработки методологии комплексного исследования характеристик излучения многофазных и многокомпонентных рабочих сред энергетических установок.

Таким образом, диссертационная работа Заграй Ираиды Александровны, посвященная комплексному исследованию характеристик излучения и пирометрирования рабочих сред энергетических установок, выполнена, безусловно, на актуальную тему.

Содержание диссертации, её цель, задачи, положения, выносимые на защиту, **соответствуют заявленной научной специальности** и её направлениям исследования по п.1 – «Экспериментальные исследования термодинамических и переносных свойств чистых веществ и их смесей в широкой области параметров состояния», п.7 – «Экспериментальные и теоретические исследования процессов совместного переноса тепла и массы в бинарных и многокомпонентных смесях веществ, включая химически реагирующие смеси». по п.3 – «Процессы взаимодействия интенсивных потоков энергии с веществом; совместный перенос массы, импульса и энергии в бинарных и многокомпонентных смесях веществ, включая химически реагирующие смеси», п.4 – «Процессы переноса массы, импульса и энергии при свободной и вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей и характеристик теплопередающих поверхностей, в одно- и многофазных системах и при фазовых превращениях. Радиационный теплообмен в прозрачных и поглощающих средах», п.6 – «Научные основы повышения эффективности использования энергетических ресурсов в теплотехническом оборудовании и использующих теплоту системах и установках», п.8 – «Новые конструкции теплопередающих и теплоиспользующих установок и оборудования, обладающих улучшенными эксплуатационными и технико-экономическими характеристиками. Совершенствование методов расчета и оптимизация параметров, использующих теплоту технологических процессов, оборудования и систем».

Научная новизна и новые результаты

В диссертационной работе автором получены новые данные о характеристиках излучения рабочих сред энергетических установок с учетом селективности и влияния температуры, давления, дисперсности, состава газовой и конденсированной фаз, наличия сажи на спектры теплового излучения. Получены расчетные спектральные и интегральные плотности потоков энергии излучения и излучательные способности рабочих сред факела горения твердых топлив с учетом температурной неравновесности и степени выгорания топлива.

Достоверность полученных результатов

Достоверность основных положений и результатов работы обусловлена корректным использованием законов теплового излучения, химической кинетики, газодинамики и теплообмена, применением для проведения экспериментальных исследований поверенного измерительного оборудования и согласованием результатов с данными других авторов, опубликованными в литературе.

Теоретическая и практическая ценность работы

Теоретическая и практическая ценность работы состоит в том, что полученные результаты и выявленные новые закономерности спектральной излучательной способности многофазных и многокомпонентных рабочих сред позволяют повысить эффективность энергетических установок.

Апробация работы и публикации

Материалы диссертации были представлены на российских и международных научных конференциях в 2014–2023 гг. в том числе на национальном конгрессе по энергетике (Казань, КГЭУ, 2014 г.); Шестой и Седьмой Российской национальной конференции по теплообмену (РНКТ-6 Москва, МЭИ, 2014 г., РНКТ-7 Москва, МЭИ, 2018 г.); XX, XXI и XXIV Школе-семинаре молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН А.И. Леонтьева «Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках» (Звенигород Московской области, НКТМ РАН, 2015 г., Санкт-Петербург, СПбПУ, 2017 г., Казань, КазНЦ РАН, 2023 г.); Международной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетики» (Москва, МЭИ, 2017 г.) и ряде других.

Основные результаты опубликованы в 65 печатных работах, в том числе 15 в журналах индексируемых в Scopus и WoS, 8 статьях в журналах из перечня ВАК Минобрнауки России, 1 монографии.

Общая характеристика структуры и содержания диссертации

Диссертационная работа изложена техническим языком и состоит из введения, 6 глав и заключения. Объем составляет 366 страниц, включает 174 рисунка, 63 таблицы и список литературы из 397 наименований. Список используемых источников отражает состояние вопроса, рассмотренного в диссертации. По объёму и содержанию автореферат и диссертация отвечают требованиям к докторским диссертациям.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, поставлена цель и задачи исследований, приведена научная новизна, теоретическая и практическая значимость, представлены основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации работы.

В первой главе представлены результаты проведённого автором анализа современного состояния исследований в области теплового излучения и пирометрирования рабочих сред энергетических установок. Проанализированы методы определения температуры рабочих сред. Приведены данные по результатам определения характеристик излучения и температуры рабочих сред в энергетических установках. Автор установил наличие в литературе противоречивых данных о способах и результатах измерения температуры рабочих сред с помощью многоволновой термометрии, акустических методов, методов с применением люминофорных материалов, контактных термопар и др. Показано, что они имеют ограниченную область применения, сложности в реализации, и не позволяют провести совместное определение температур газа и частиц при сжигании различных топлив.

Во второй главе приводится разработка программного модуля расчета радиационных характеристик газовой фазы. Представлены результаты определения спектральных коэффициентов поглощения отдельных компонентов смеси газов в энергетических установках. Автором перечислены основные факторы, определяющие радиационные характеристики смеси газов, и показано, что наибольший вклад в суммарный коэффициент поглощения при факельном сжигании твердых топлив торфа и угля вносят молекулы CO₂, H₂O и SO₂.

В третьей главе описываются радиационные характеристики частиц конденсированной фазы и представлены результаты их расчета для рабочих сред энергетических установок на основании созданной базы данных на основе обобщения литературных и собственных экспериментальных результатов определения химического состава, дисперсности и оптических свойств частиц золы, кокса, оксида алюминия и сажи. Автором рассмотрены научные основы процесса переноса энергии излучения в рассеивающей и поглощающей дисперсной системе частиц. Проанализированы радиационные характеристики индивидуальных частиц: эффективные сечения ослабления, рассеяния и поглощения. Создана база данных по оптическим свойствам материала частиц конденсированной фазы рабочих сред энергетических установок. На основании литературных данных приведены оптические константы частиц угольной пыли, кокса и золы, частиц оксида алюминия и сажи. На основании собственных экспериментальных данных по химическому составу частиц рассчитаны оптические константы золы торфа на основании дисперсионных соотношений. Величина показателя поглощения золы торфа определялась экспериментально методом решения обратной задачи теории рассеяния с помощью лазерного анализатора микрочастиц. Автор установил характеристики дисперсности частиц в продуктах сгорания при сжигании газоторфяной смеси в паровом котле и экспериментально определил формы и размеры частиц в тракте котловой системы. Построены гистограммы и функции распределения частиц по размерам. Методом сканирующей микроскопии определена дисперсность частиц сажи, содержащихся в продуктах сгорания ДВС, с последующей статистической обработкой полученных результатов.

В четвертой главе диссертации представлена методика расчета спектральных и интегральных характеристик излучения: плотностей потоков энергии излучения и излучательных способностей рабочих тел энергетических установок. Автор показал, что селективный спектр излучения рабочей среды несет информацию о многофазности и многокомпонентности исследуемой среды, уровне температуры газовой фазы и частиц конденсированной фазы, спектральном интервале и давлении. Для решения поставленных задач автор выбрал метод сферических гармоник с использованием метода матричной факторизации для одномерных и двумерных областей с внутренними равномерно распределенными по объему изотропными источниками. Это обеспечило хорошую сходимости, безитерационную схему расчета и позволило учесть такие параметры, как анизотропия рассеяния, селективность излучения, неизотермичность объема, оптические свойства, термо- и газодинамические параметры рабочей среды.

В пятой главе работы исследовано изменение характера спектра излучения продуктов сгорания модельных ЖРД и РДТТ по тракту «камера сгорания – сопло – начальный и основной участки факела». Установлено, что в камере сгорания наблюдается соизмеримое влияние компонентов H_2O и CO_2 12,81 и 11,72 Вт/см² соответственно на итоговое излучение газовой фазы. При постепенном переходе по тракту РДТТ влияние CO_2 становится преобладающим и более чем в 1,5 раза превышает излучение H_2O . Автор анализирует характеристики теплового излучения гетерогенных продуктов сгорания в камере сгорания модельного РДТТ, изучает характер и уровень излучения, влияние конденсированной фазы и газовой фазы на характеристики излучения гетерогенных продуктов сгорания, влияние неполного сгорания, влияние скоростной и температурной неравновесностей на характеристики излучения факела. Анализирует особенности теплового излучения продуктов сгорания газогенератора и топочных газов в паровом котле, работающих на твердом топливе, выполняет оценку влияния промышленных выбросов предприятий теплоэнергетики на поглощение солнечного излучения в атмосфере. Выполнены расчеты коэффициентов поглощения при температуре 300 К в спектральном интервале (0,4 – 14) мкм,

а также функций поглощения при толщинах слоя 5 и 10 м. Результаты показали, что наличие частиц золы вносит существенный вклад в поглощение солнечного излучения продуктами сгорания в окнах прозрачности газовой фазы. Установлено, что при отсутствии системы очистки дымовых газов для оптического диапазона (0,4 – 0,78) мкм поглощение может составлять до 46 % при сжигании торфа и до 20 % при сжигании угля. В широком окне прозрачности атмосферы (7,5 – 14) мкм функция поглощения продуктов сгорания принимает значения от 64 до 100 % при сжигании торфа и от 73 до 100 % при сжигании угля.

В шестой главе диссертации рассмотрены вопросы пирометрирования рабочих сред энергетических установок. Представлена методика пирометрического определения температуры рабочих сред и результаты расчета температуры газовой фазы и частиц конденсированной фазы при факельном сжигании твердых топлив в топке парового котла. Представлены характеристики излучения рабочих сред с учетом температурной неравновесности газа и частиц, а также степени выгорания топлива по высоте топки парового котла. Показано, что при сжигании угля для хвостовой части факела достаточно учитывать только частицы золы в составе топочных газов, что приводит к погрешности при измерении температуры частиц не более 2 %. Глава завершается разработкой методологии определения характеристик излучения многофазных и многокомпонентных поглощающих, излучающих и рассеивающих энергию излучения рабочих сред энергетических установок: котлоагрегатов промышленной теплоэнергетики, работающих на природных ископаемых топливах (торф, уголь, природный газ), и аппаратов, работающих на химических ракетных топливах.

Автореферат и опубликованные статьи, в полной мере, отражают содержание диссертации.

Замечания и пожелания

1. В названии и цели работы отмечена разработка методологии комплексного исследования характеристик излучения и пирометрирования многофазных и многокомпонентных рабочих сред энергетических установок при использовании различных топлив. При этом в автореферате и диссертации описание разработанной методологии ограничено туманной фразой – «Итогом диссертационной работы может служить схема реализации методологии, в которой указаны приборы (оборудование) для осуществления экспериментального исследования (ЭИ) или методы, методики, программы и комплексы для осуществления расчетного исследования (РИ) на каждом этапе. Разработанная структура методологии позволяет проводить самостоятельные исследования отдельными блоками в зависимости от поставленной задачи». Что автор понимает под методологией? Какие методы в неё входят? В чем отличие предлагаемой методологии и методов от известных? В чем их новизна? Каковы границы её применимости? Почему её применение требует использование конкретного оборудования типа «Ласка-2К», «JSM-6510 LV» и т.д.?

2. В первом пункте научной новизны отмечено, что разработан универсальный модульный программный комплекс «Spektr» для расчета спектральных и интегральных характеристик излучения многофазных и многокомпонентных рабочих сред энергетических установок и описание того, чем комплекс отличается от существующих. При этом не приведены новые научные результаты, которые лежат в основе комплекса. Без них это выглядит как решение инженерной задачи. В научной новизне хотелось бы увидеть именно новые научные результаты.

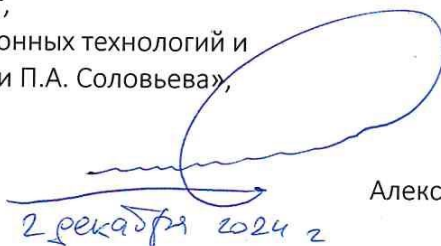
3. Выводы по всем главам диссертации содержат лишь прямое перечисление полученных результатов. Без описания того, где и как их использовать, без логической связи между отдельными главами и логикой исследования в целом.

Заключение

Приведённые замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации Заграй Ираиды Александровны, в которой решена актуальная научная задача комплексного исследования характеристик излучения и пирометрирования рабочих сред энергетических установок, имеющая существенное значение для развития теоретической и прикладной теплотехники и технических наук. Работа выполнена на высоком методическом и научном уровне, является законченной в рамках поставленных задач, полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации, оба документа изложены последовательно и четко. Диссертационная работа «Методология комплексного исследования характеристик излучения и пирометрирования рабочих сред энергетических установок» удовлетворяет требованиям и критериям установленным п.п. 9-11, 13, 14 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Заграй Ираида Александровна, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника.

Доктор технических наук, доцент,
и.о. директора института авиационных технологий и
инженерной физики РГАТУ имени П.А. Соловьева,
телефон: +7-920-100-84-26
e-mail: marialex2004@mail.ru



2 рекадря 2024 г

Александр Игоревич Гурьянов

Специальность, по которой официальным
оппонентом защищена диссертация:
01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника

Подпись Гурьянова Александра Игоревича заверяю:

Ректор РГАТУ имени П.А. Соловьева,
доктор физико-математических наук, профессор



Валерий Иванович Кошкин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева», 152934, Ярославская область, г. Рыбинск, ул. Пушкина, д. 53 (ФГБОУ ВО РГАТУ имени П.А. Соловьева), Тел. +7 4855 28 04 70, факс: +7 4855 21 39 64, rector@rsatu.ru

Я, Гурьянов Александр Игоревич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Заграй Ираиды Александровны, и их дальнейшую обработку.