

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.310.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «19» декабря 2024г., №15

О присуждении Заграй Ираиде Александровне, гражданке Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Методология комплексного исследования характеристик излучения и пирометрирования рабочих сред энергетических установок» по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника принята к защите «12» сентября 2024 г. (протокол заседания № 9) диссертационным советом 24.2.310.03, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет» (ФГБОУ ВО «КГЭУ»), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51, приказ № 836/нк от 20.04.2023 г.

Соискатель Заграй Ираида Александровна родилась «30» декабря 1984 года.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Моделирование оптических свойств и радиационных характеристик дисперсных систем энергетических установок» защитила в 2012 году в диссертационном совете, созданном на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального

образования «Казанский государственный энергетический университет»,
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Работает в должности старшего научного сотрудника кафедры инженерной физики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Вятский государственный университет»,
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре инженерной физики ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – доктор технических наук, профессор Кузьмин Владимир Алексеевич, ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», кафедра инженерной физики, главный научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

1. Кузнецов Гений Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор НОЦ И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск;

2. Гурьянов Александр Игоревич, доктор технических наук, доцент, и.о. директора института «Авиационные технологии и инженерная физика» ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева», г. Рыбинск;

3. Ковальногов Владислав Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Тепловая и топливная энергетика» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет», г. Ульяновск
дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук, г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном заместителем директора по научной работе, д.т.н., профессором Ермоловым Иваном Леонидовичем, заведующим лабораторией радиационной

газовой динамики, д.ф.-м.н., профессором Суржиковым Сергеем Тимофеевичем, указала, что в диссертации представлены новые результаты экспериментальных и теоретических исследований характеристик излучения многофазных и многокомпонентных рабочих сред энергетических установок различного назначения и в деталях обсуждается проблема пирометрического определения температуры гетерогенных рабочих смесей, решение которой имеет не только важное прикладное значение, но и является принципиально важным для развития современной оптической техники, оптико-электронных приборов и систем. В заключении отзыва указано, что диссертационная работа «соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки России, установленным в пунктах 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 (ред. от 25.01.2024), а ее автор Заграй Ираида Александровна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.6 – Теоретическая и прикладная теплотехника.

Соискатель имеет 77 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 65 работ общим объемом 40,063 печатных листов и авторским вкладом 16,062 печатных листов; из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus опубликовано 15 работ, объемом 16,75 печатных листов и авторским вкладом 8,625 печатных листов; в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России по специальности диссертации опубликовано 8 статей, объемом 7,125 печатных листов и авторским вкладом 3,0 печатных листа; 40 работ в других журналах и сборниках материалов конференций, объемом 7,25 печатных листов и авторским вкладом 3,32 печатных листов; 1 монография, объемом 8,813 печатных листов и авторским вкладом 4,406 печатных листов; 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, объемом 0,125 печатных листов и авторским вкладом 0,031 печатных листов.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значительные работы:

1. Zagrai, I.A. Determining the steam boiler furnace gas temperature and emissivity during flame combustion of peat / V.A. Kuzmin, I.A. Zagrai, N.A. Shmakova // *Thermal Engineering*. 2023. Vol. 70. No. 1. P. 55–62. (1,0 п.л./0,5 п.л.)

2. Заграй, И.А. Определение излучательной способности и температуры топочных газов парового котла при факельном сжигании угля / В.А. Кузьмин, И.А. Заграй, Н.А. Шмакова // *Тепловые процессы в технике*. 2023. Т.15. № 3. С.133–137. (0,625 п.л./0,25 п.л.)

3. Заграй, И.А. Влияние промышленных выбросов предприятий теплоэнергетики на поглощение солнечного излучения в атмосфере / В.А. Кузьмин, И.А. Заграй, Н.А. Шмакова // *Теоретическая и прикладная экология*. 2023. № 1. С. 170–178. (1,125 п.л./0,375 п.л.)

4. Zagrai, I.A. Thermal emission characteristics of combustion products from rocket engines. Part 1. Investigating the nature and level of emission for model LPRE and SPRE / V.A. Kuzmin, I.A. Zagrai, N.A. Shmakova // *Thermophysics and Aeromechanics*. 2022. Vol. 29. No. 3. P. 427–436. (1,125 п.л./0,625 п.л.)

5. Zagrai, I.A. Thermal emission characteristics of combustion products from rocket engines. Part 2. Investigating the influence of various factors for SPRE / V.A. Kuzmin, I.A. Zagrai, N.A. Shmakova // *Thermophysics and Aeromechanics*. 2022. Vol. 29. No. 4. P. 567–577. (1,375 п.л./0,75 п.л.)

6. Zagrai, I.A. Investigation of emission characteristics and temperature of furnace gases in BKZ-210-140F steam boiler: milled peat combustion and support flaming with natural gas / V.A. Kuzmin, I.A. Zagrai, I.A. Desiatkov // *Thermophysics and Aeromechanics*. 2021. Vol. 28. No. 2. P. 281–290. (1,25 п.л./0,625 п.л.)

7. Заграй, И.А. Контроль образования оксидов азота в топке парового котла с целью защиты атмосферного воздуха от загрязнения / В.А. Кузьмин,

И.А. Заграй, И.А. Десятков // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 3. С. 126–132. (0,875 п.л./0,5 п.л.)

8. Zagrai, I.A. Model of solid fuel rocket engine: thermal emission characteristics from a plume calculated with account for temperature and speed non-equilibrium between gas and particle flows / V.A. Kuzmin, I.A. Zagrai, E.I. Maratkanova // Thermophysics and Aeromechanics. 2019. Vol. 26. No. 1. P. 69–77. (1,125 п.л./0,75 п.л.)

9. Zagrai, I.A. Investigation of thermal radiation of furnace gases generated from solid-fuel combustion in a steam boiler / V.A. Kuzmin, I.A. Zagrai, E.I. Maratkanova, I.A. Desiatkov // Thermophysics and Aeromechanics. 2019. Vol. 26. No. 2. P. 281–294. (1,75 п.л./0,875 п.л.)

10. Заграй, И.А. Определение плавкости золы торфа месторождений Кировской области / В.А. Кузьмин, И.А. Заграй, И.А. Десятков // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. Т. 20. № 11-12. С. 27–33. (0,875 п.л./0,5 п.л.)

11. Zagrai, I.A. A comprehensive study of combustion products generated from pulverized peat combustion in the furnace of BKZ-210-140F steam boiler / V.A. Kuzmin, I.A. Zagrai // Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 891. P. 012226. (1,125 п.л./0,75 п.л.)

12. Zagrai, I.A. Modeling of thermal radiation of combustion products in the gas generator / V.A. Kuzmin, I.A. Zagrai, N.A. Shmakova // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM 2017), Saint Petersburg, Russia, 16-19 May, 2017. IEEE Xplore. Pages: 1 – 5. (0,625 п.л./0,375 п.л.)

13. Zagrai, I.A. Simulation of thermal radiation from heterogeneous combustion products of peat burning in power plants / V.A. Kuzmin, I.A. Zagrai // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM 2017), Saint Petersburg, Russia, 16-19 May, 2017. IEEE Xplore. Pages: 1 – 5. (0,625 п.л./0,375 п.л.)

14. Zagrai, I.A. Modeling of thermal radiation of heterogeneous combustion products in the model solid rocket engine plume / V.A. Kuzmin, E.I. Maratkanova,

I.A. Zagrai // Procedia Engineering. 2017. Vol. 206. P. 1801–1807. (0,875 п.л./0,5 п.л.)

15. Заграй, И.А. Исследование дисперсности и химического состава частиц в продуктах сгорания при сжигании газоторфяной смеси в паровом котле БКЗ-210-140Ф / В.А. Кузьмин, И.А. Заграй, И.А. Десятков // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. № 5-6. С. 55–63. (1,125 п.л./0,375 п.л.)

16. Zagray, I.A. Simulation of thermal radiation emitted by heterogeneous combustion products in the combustion chamber of a model engine / V.A. Kuz'min, E.I. Maratkanova, I.A. Zagray, R.V. Rukavishnikova // Russian aeronautics. 2016. Vol. 59. No. 1. P. 100–106. (0,875 п.л./0, 5 п.л.)

17. Zagray, I.A. Thermal radiation of heterogeneous combustion products at the nozzle exit of the rocket microengine / V.A. Kuz'min, E.I. Maratkanova, I.A. Zagray, R.V. Rukavishnikova // Russian aeronautics. 2016. Vol. 59. No. 4. P. 579–586. (1,0 п.л./0,375 п.л.)

18. Zagray, I.A. Thermal radiation of heterogeneous combustion products in the model rocket engine plume / V.A. Kuz'min, E.I. Maratkanova, I.A. Zagray, R.V. Rukavishnikova // Thermophysics and Aeromechanics. 2015. Vol. 22. No. 3. P. 371–386. (2,0 п.л./0,75 п.л.)

19. Заграй, И.А. Исследование оптических свойств и дисперсности частиц продуктов сгорания энергетических установок, работающих на торфе / В.А. Кузьмин, И.А. Заграй, Р.В. Рукавишникова, Е.И. Маратканова // Тепловые процессы в технике. 2015. Т.7. № 4. С. 188–192. (0,625 п.л./0,25 п.л.)

20. Заграй, И.А. Комплексное исследование теплового излучения гетерогенных продуктов сгорания при сжигании торфа в энергетических установках / В.А. Кузьмин, И.А. Заграй, Р.В. Рукавишникова // Тепловые процессы в технике. 2015. Т.7. № 10. С. 459–464. (0,75 п.л./0,375 п.л.)

21. Заграй, И.А. Тепловое излучение гетерогенных продуктов сгорания при сжигании торфа / В.А. Кузьмин, И.А. Заграй, Р.В. Рукавишникова // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2015. № 3-4. С. 58–67. (1,25 п.л./0,625 п.л.)

22. Заграй, И.А. Исследование характеристик излучения продуктов сгорания газогенератора / В.А. Кузьмин, И.А. Заграй // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2015. № 4 (34). С. 53–59. (0,875 п.л./0,375 п.л.)

23. Заграй, И.А. Определение размеров частиц сажи на различных участках системы выпуска дизеля / В.А. Кузьмин, И.А. Заграй, А.В. Россохин, Р.В. Рукавишникова // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2013. №11-12. С. 3–10. (1 п.л./0,25 п.л.)

На диссертацию и автореферат поступило 18 отзывов. Все они положительные, с замечаниями – 17.

Отзывы прислали:

1. Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры авиационной теплотехники и теплоэнергетики ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» Бакиров Федор Гайфуллович и кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой авиационной теплотехники и теплоэнергетики ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» Сенюшкин Николай Сергеевич.

Замечание:

В автореферате работы не отражено, как учитывается в диссертации сложная взаимосвязь в зонах горения (топочные объемы, камеры сгорания) пространственной газодинамики потоков и излучения, что важно на этапе проектирования энергоустановок, иначе, особенно в экспериментах, это уже установление фактически имеющегося результата для разных режимов работы энергоустановки.

2. Доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник ФГБУН «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН» Бердников Владимир Степанович.

Замечания:

1) Автором убедительно обоснована необходимость глубокого многопараметрического исследования радиационного теплообмена в

энергетических установках, но совершенно не упоминается и не обсуждается относительная роль конвективных процессов в многокомпонентной неизотермической среде, на фоне которых наблюдаются (или происходят) излучение, поглощение, отражение и рассеяние излучения. В автореферате не приведены оценки возможности пренебречь влиянием конвективного тепло-массообмена в движущейся среде (с большими локальными градиентами температуры) и при ее взаимодействии со стенками, например котла. Из приведенных в автореферате данных не понятно как определялись скорости газа и частиц (см. например, с.12).

2) Установлено, что: «Найденная величина физического недожога шлака при сжигании торфа в котле БКЗ-210-140Ф, которая составила 4,096 %, а для золы – 2,101 %.» Это констатация факта или есть предложения, как уменьшить эти проценты, если это практически требуется?

3. Доктор технических наук, профессор, проректор, заведующий кафедрой технической теплофизики ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет» Бирюков Алексей Борисович и кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет» Лебедев Александр Николаевич.

Замечания:

1) В главе 2 (табл. 2) приведены расчетный и фактический состав продуктов сгорания торфа. Однако не приведен полный состав дыма за топкой (нет данных по содержанию водяного пара), а также нет пояснений значительному увеличению концентрации кислорода (3,6 и 5,1 %).

2) В главе 3 (табл. 3) приведены результаты определения температуры плавкости золы торфа в соответствии с ГОСТ 32078-2014. При этом не приведены сведения о составе атмосферы, в которой проводились эксперименты (восстановительная или окислительная), а также описание аппаратуры, которая использовалась. Это важно, так как значения температур в восстановительной среде ниже, чем в окислительной.

3) На рисунке 3 приведена фотография частиц золы, но нет информации о химическом составе этих частиц.

4) Было бы целесообразно привести сравнительные результаты расчета топки по общепринятой методике (нормативный метод) и с учетом разработанных методик.

4. Доктор технических наук, профессор, директор института химического и нефтяного машиностроения, и.о. заведующего кафедрой вакуумной техники электрофизических установок ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» Бурмистров Алексей Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры вакуумной техники электрофизических установок ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» Косенков Дмитрий Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры инженерной компьютерной графики и автоматизированного проектирования ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» Сагадеев Владимир Владимирович.

Замечания:

1) Не учитывается температурный профиль от ядра факела до стенки топки в расчетах характеристик излучения рабочих сред парового котла БКЗ-210-140Ф.

2) Не обсуждена возможность использования полученных зависимостей $T = f(\epsilon_\lambda)$ при сжигании торфа с других месторождений.

5. Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Теоретические основы теплотехники» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» Бухмиров Вячеслав Викторович.

Замечания:

1) В диссертации основные экспериментальные результаты получены при исследовании факела конкретного парогенератора. Возникает вопрос о

возможности применения результатов эксперимента для расчета энергетических котлов других марок?

2) Как известно, проектирование энергетических или теплотехнологических установок, в которых для переноса энергии используется радиационный теплообмен, требует расчета результирующего радиационного потока на экранах, материале, ограждениях и т.д. Возможно ли дать оценку увеличения точности расчета интегрального результирующего радиационного теплового потока за счет учета селективности гетерогенного потока продуктов сгорания?

3) Следует пояснить какие экспериментальные данные необходимо получить (условия и приборная база эксперимента) для расчета радиационных характеристик многокомпонентной газовой фазы (ГФ) и многокомпонентной конденсированной фазы (КФ) в МПК «Spektr»?

4) В автореферате использованы внесистемные единицы измерения физических величин.

6. Доктор технических наук, профессор, и.о. заведующего кафедрой теплотехники и энергетического машиностроения ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» Гортышов Юрий Федорович и доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теплотехники и энергетического машиностроения ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» Попов Игорь Александрович.

Замечания:

1) В тексте автореферата не указано, по какой методике рассчитывались оптические константы золы торфа, представленные на рисунке 2.

2) В автореферате на с. 18 сказано, что содержание сажи на начальном участке факела ЖРД повышает значение интегральных характеристик излучения минимум на 13%, но не указан максимальный рост этих величин.

7. Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Прикладная механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет» Егоров Александр Григорьевич.

Замечания:

1) Из данных изложенных в автореферате не понятно как учитываются процессы коагуляции и агломерации в расчетной модели при движении продуктов сгорания в тракте РДТТ.

2) В списке основных публикаций по теме диссертации отсутствуют единоличные публикации.

8. Доктор технических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией теплообмена в энергетических установках ФГБУН «Объединенный институт высоких температур Российской академии наук» Ивочкин Юрий Петрович.

Замечание:

В автореферате не приводится анализ погрешностей измеряемых величин, а также не указываются доверительные интервалы приводимых характеристик.

9. Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика и холодильные машины» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» Ильин Роман Альбертович.

Замечание:

В цели работы сказано, что разработка методологии комплексного исследования характеристик излучения будет проводиться для различных видов топлив, а по факту в работе производится анализ только при использовании твердого топлива в энергетических установках.

10. Доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории Теплофизики и волновых технологий ФГБУН ФИЦ «Казанский научный центр Российской академии наук» Кирсанов Юрий Анатольевич.

Замечания:

1) Следовало бы пояснить каким способом получено распределение по размерам золы, показанное на рис. 4: ситовым, счетным или с помощью

импактора. Не понятно так же какое это распределение: счетное, объемное или массовое.

2) В работе одновременно рассматривается излучение рабочих сред в объектах промышленной теплоэнергетики и ракетной техники. Чем обусловлено объединение таких разных объектов в проводимых исследованиях?

3) Из автореферата не ясно, почему при сжигании торфа наблюдается «провал» по температуре в средней части топки. Почему здесь измеренная температура меньше, чем в хвостовой части?

11. Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет» Павлов Михаил Васильевич.

Замечания:

1) Чем можно объяснить выход спектральной излучательной способности топочных газов ϵ_λ , образованных в результате сгорания торфа, за пределы единицы в диапазоне длин волн 5–8, согласно рис. 15б и 16б (стр.23).

2) В диссертационной работе также могла быть рассмотрена технико-экономическая оценка повышения точности определения температуры сгорания за счет разработки методологии комплексного исследования характеристик излучения и пирометрирования многофазных и многокомпонентных рабочих сред энергетических установок при использовании различных видов топлив.

12. Доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой общей физики ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Перминов Анатолий Викторович.

Замечания:

1) В конце части, посвященной описанию первой главы диссертации на стр. 11 автореферата говорится: «На основании анализа литературных данных сформулирована цель, связанная с разработкой методологии (научных основ и базовых принципов) комплексного исследования характеристик излучения и

пирометрирования рабочих сред энергетических установок». Однако, ранее на стр. 4 цель работы уже была сформулирована. Таким образом, в автореферате фактически формулируется две цели. Какой из них следует автор?

2) В целом результативную часть работы можно разделить на два блока. Один из них посвящен тепловым процессам, происходящим в паровом котле, второй тепловым процессам в ракетных двигателях на жидком и твердом топливе. Причем паровому котлу посвящены главы 2, 3 и 6, а ракетным двигателям главы 4 и 5. Чем обусловлено такое несколько не последовательное изложение материала в диссертации?

3) Все исследования, описанные в главах 2, 3 и 6, выполнены для энергетической установки БКЗ – 210 – 140Ф. Возникает вопрос, применимы ли результаты исследований и в какой мере для других типов энергетических установок, т.е. обладают ли результаты работы универсальностью?

4) Текст автореферата изобилует аббревиатурами, например, «ГФ», «ПС», «КФ» и другими. Разумно было бы предусмотреть в автореферате глоссарий с расшифровкой всех аббревиатур.

13. Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Высшая математика» ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет» Садыков Айдар Вагизович.

Замечаний нет.

14. Доктор технических наук, профессор, директор НОЦ «Теплофизика в энергетике», профессор Высшей школы атомной и тепловой энергетики института энергетики ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» Сапожников Сергей Захарович.

Замечания:

1) В экспериментальных разделах работы отсутствует оценка неопределенностей, с которой найдены целевые величины.

2) Раздел «Основные результаты работы» многословен, понять из него, что автор считает главным и наиболее ценным, трудно.

3) Заглавие содержит нагромождение родительных падежей.

15. Доктор технических наук, старший научный сотрудник, заведующий отделением парогенераторов и топочных устройств АО «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени теплотехнический научно-исследовательский институт» Тугов Андрей Николаевич.

Замечания:

1) В таблице 3 приведен химический состав золы торфа только в оксидной форме. Кроме оксидов в состав минеральной части могут входить и другие соединения (сульфиды, карбонаты, сульфаты и др.).

2) В автореферате не указаны допущения при разработке расчетной модели излучения рабочих сред.

16. Доктор технических наук, профессор, директор департамента энергетических систем ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» Штым Константин Анатольевич.

Замечания:

1) Из автореферата не совсем понятно, для чего необходима столь высокая точность измерения для топки пылеугольного котла.

2) В автореферате отсутствуют данные о возможности применения в условиях наладки или эксплуатации.

3) Не ясно, что изменилось в работе котла БКЗ-210-140Ф или что предполагается сделать для улучшения характеристик его работы.

17. Доктор технических наук, профессор, заслуженный энергетик России, заведующий кафедрой «Атомных станций и возобновляемых источников энергии» УралЭНИИ ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» Щеклеин Сергей Евгеньевич.

Замечания:

1) В автореферате не приводятся данные по оценке погрешностей по ряду использованных экспериментальных методов. Не ясно, проводилась ли калибровка измерительных средств на эталонных веществах и процессах?

2) Учитывалась ли сложная геометрия дисперсных частиц при проведении и отработке результатов экспериментов и разработке теоретических моделей?

3) В какой мере использование торфа влияет на «углеродный след» объектов энергетики?

18. Доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, начальник отдела «Двигатели и химмотология» ФАУ «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова» Яновский Леонид Самойлович.

Замечание:

В качестве недостатков данной работы следует отметить, что предлагаемые автором методы экспериментальных исследований лучистых потоков ориентированы только на использование при атмосферном или пониженном давлении. В случае применения этих методов для исследования лучистых потоков в камере, находящейся под повышенным давлением, необходимо введение дополнительных поправок на пропускную способность устройств, предназначенных для вывода излучения к регистрирующему устройству.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их известностью своими достижениями в данной области науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследований и их квалификацией определять научную и практическую ценность диссертации.

Официальный оппонент Кузнецов Гений Владимирович – доктор физико-математических наук по специальности 01.04.14. Теплофизика и молекулярная физика, является крупным специалистом в области тепловой защиты энергоустановок, нестационарного теплопереноса, зажигания конденсированных веществ, композиционных топлив на основе угля, экологических проблем угольной энергетики, автор более 900 научных и научно-методических работ, среди которых 10 монографий, имеет более 60 патентов на изобретения и полезные модели, авторских свидетельств и свидетельств о регистрации программ для ЭВМ.

Официальный оппонент Гурьянов Александр Игоревич – доктор технических наук по специальности 01.04.14. Теплофизика и теоретическая

теплотехника, является ведущим специалистом в области горения жидких, газообразных, смешанных и синтетических топлив в камерах сгорания и горелочных устройствах для энергетики и авиации, автор более 180 научных и методических работ, имеет 19 патентов на изобретения.

Официальный оппонент Ковальногов Владислав Николаевич – доктор технических наук по специальностям 05.02.07. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки, 05.02.08. Технология машиностроения, является известным специалистом в области математического моделирования, исследования и оптимизации тепловых и гидрогазодинамических процессов в приложениях к проблемам создания энергетического оборудования и теплотехники, транспортной энергетики и энергомашиностроения, автор более 200 научных и методических работ, среди которых 7 монографий, имеет более 60 патентов на изобретения и полезные модели, свидетельств о регистрации программ для ЭВМ.

Выбор ведущей организации – ФГБУН Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, г. Москва обусловлен тем, что организация выполняет фундаментальные исследования по широкому спектру проблем по постановлениям Академии наук, включая физическую газовую динамику, физическую и химическую кинетику неравновесных сред и многотемпературную термодинамику, компьютерное моделирование физических явлений, расчетно-теоретические исследования радиационных, физико-химических и газодинамических процессов. Обладая мощным научным потенциалом и существенным опытом практической деятельности, способна оценить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны модульный программный комплекс «Spektr» для расчета спектральных и интегральных характеристик излучения многофазных и многокомпонентных рабочих сред энергетических установок; научно-обоснованная методика пирометрирования топки парового котла; программно-

аппаратный комплекс для определения температуры и излучательной способности топочных газов в котлоагрегатах при сжигании твердых видов топлива (торфа и угля);

предложен новый подход экспериментально-расчетного определения излучательной способности, устанавливаемой на яркостных пирометрах, который позволяет измерять отдельно температуру газовой фазы в полосе излучения CO_2 и температуру частиц конденсированной фазы в полосе прозрачности газовой фазы на основе анализа спектров излучения рабочих сред энергетических установок;

доказана необходимость учета разницы температур между газовой фазой и частицами конденсированной фазы, а также степени выгорания топлива в расчетах характеристик излучения рабочих сред парового котла при сжигании твердых топлив (торфа и угля);

введена измененная трактовка понятия «пирометрирования топки», под которым автором понимается бесконтактное определение температуры газовой фазы в полосе излучения CO_2 и температуры частиц конденсированной фазы в полосе прозрачности газовой фазы с помощью пирометров при установлении на них обоснованных расчетных значений излучательной способности.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана значительная селективность излучения многофазных и многокомпонентных рабочих сред энергетических установок при сжигании твердых топлив и необходимость ее учета при выборе оптических приборов для бесконтактного измерения температуры;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы основы теории переноса энергии теплового излучения и методы математического моделирования для расчета радиационных характеристик многокомпонентной газовой фазы, расчета радиационных характеристик многокомпонентной конденсированной фазы и расчета характеристик излучения многофазных рабочих сред (газ, жидкие и твердые частицы)

энергетических установок в спектральном интервале (0,4 – 14) мкм и температурном диапазоне (300 – 3200) К;

изложены основные этапы проведения комплексного исследования с использованием методов и методик определения химического состава, оптических свойств, дисперсности, радиационных характеристик газовой фазы и частиц конденсированной фазы, а также характеристик излучения многофазных и многокомпонентных рабочих сред энергетических установок;

раскрыты основные этапы по организации комплексного многофакторного исследования характеристик теплового излучения рабочих сред энергетических установок в спектральном интервале (0,4 – 14) мкм и температурном диапазоне (300 – 3200) К;

изучены факторы, влияющие на радиационные характеристики и характеристики излучения, которые используются в моделировании радиационного теплообмена, при планировании, прогнозировании и интерпретации результатов физических, математических экспериментов и теплотехнических расчетов для энергетических установок, рабочие среды которых представляют собой гомогенные и гетерогенные продукты горения и сгорания;

проведена модернизация алгоритмов для решения интегро-дифференциального уравнения переноса энергии излучения с наличием функции источника излучения, которая учитывает сложную гетерогенную многофазную среду, состоящую из многокомпонентной газовой фазы и частиц конденсированной фазы, находящихся при разных температурах и разных коэффициентах поглощения.

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

разработаны и внедрены универсальный модульный программный комплекс «Spektr», реализующий расчет спектральных и интегральных характеристик излучения многофазных и многокомпонентных рабочих сред энергетических установок при использовании различных топлив (торфа и угля),

а также программно-аппаратный комплекс, созданный на основе программы «Temper» (получено свидетельство на программу ЭВМ) и пирометра Optris STlaser F2H для полосы излучения CO_2 , для контроля температурного режима сжигания топлива при проведении режимно-наладочных испытаний и тепловых расчетов котельных агрегатов Кировского филиала ПАО «Т Плюс» (Кировская ТЭЦ-4), в учебном процессе и выполнении научных исследований образовательных и научных организаций;

определены расчетные характеристики излучения (спектральные и интегральные плотности потоков энергии излучения и излучательные способности) рабочих сред факела с учетом температурной неравновесности и степени выгорания топлива по высоте топки парового котла БКЗ-210-140Ф при сжигании твердых топлив (торфа и угля) для определения теплонапряженности, проведения пирометрического контроля и оценки шлакования экранных поверхностей и уровня образования оксидов азота.

создана методология комплексного исследования характеристик излучения и пирометрирования многофазных и многокомпонентных рабочих сред энергетических установок при использовании твердых топлив; **представлены** методические рекомендации по выбору излучательной способности и результаты оценки погрешности измерения температуры газа и частиц в топке парового котла БКЗ-210-140Ф с учетом случайных и систематических погрешностей, а также неточности излучательной способности, устанавливаемой на пирометрах.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на современном сертифицированном оборудовании научных центров с применением современных прикладных программных продуктов и справочных данных, с использованием аттестованной измерительной техники и нормативной методики теплового расчета котлов при проведении натуральных физических экспериментов, что обеспечивает воспроизводимость результатов исследования в различных условиях;

теория не противоречит известным литературным данным, согласуется с опубликованными теоретическими и экспериментальными работами других авторов;

идея базируется на том, что спектр излучения многофазных и многокомпонентных рабочих сред является селективным, что позволяет выделить те спектральные участки, интервалы или полосы, которые пригодны для измерения температуры газа и измерения температуры частиц, и это открывает возможность использования большого числа выпускаемых оптических приборов (пирометров, тепловизоров) для оценки уровня температуры и температурных полей (термограмм) при сжигании различных топлив;

использовано сравнение авторских данных, полученных с помощью разработанного модульного программного комплекса «Spektr» и программно-аппаратного комплекса по определению температуры, с данными, полученными другими исследователями по рассматриваемой тематике;

установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов расчета характеристик излучения с экспериментальными и расчетными результатами, представленными в открытых источниках по данной тематике;

использованы фундаментальные законы теплового излучения, теплофизики, теплотехники, оптики, теории горения, современные методы и методики определения и обработки исходных данных (химического состава, дисперсности и оптических свойств частиц конденсированной фазы, неполноты сгорания торфа, состава и плавкостных свойств золы), методы расчета радиационных характеристик дисперсных сред с помощью теории рассеяния, метод сферических гармоник в P_3 -приближении для решения интегродифференциального уравнения переноса энергии излучения для поглощающей, излучающей и рассеивающей среды, метод бесконтактного пирометрического измерения температуры, современное поверенное оборудование и системы обработки результатов физического эксперимента.

Личный вклад соискателя состоит во включенном участии на всех этапах процесса: изучении и критическом анализе научной литературы по теме исследования; постановке цели и задач исследования, в получении исходных данных и создании баз данных по химическому составу, оптическим свойствам и дисперсности частиц рабочих сред энергетических установок на основании литературных и собственных экспериментальных результатов, разработке модульного программного комплекса, апробации результатов исследования, применении методологии для установления влияния различных факторов на характеристики излучения рабочих сред энергетических установок, разработке подхода к определению температуры и интерпретации экспериментальных результатов пирометрирования топки парового котла БКЗ-210-140Ф, формулировке выводов и подготовке публикаций по выполненной работе.

Рекомендации по использованию результатов диссертационного исследования. Полученные в рамках диссертационного исследования научно-технические результаты рекомендуется использовать на предприятиях энергетического комплекса (ПАО «Т Плюс», АО «Татэнерго» и др.) и проектных организациях теплоэнергетического направления (НПО ЦКТИ имени И.И. Ползунова, АО «ВТИ», ООО «УралВТИ» и др.) для оценки излучательных свойств, температуры рабочих сред, процесса шлакования и уровня образования оксидов азота при сжигании природных ископаемых топлив (торфа, угля, природного газа).

В ходе защиты диссертации существенных критических замечаний по научной новизне и значимости работы для науки и практики высказано не было. Соискатель Заграй И.А. аргументировано ответила на замечания и задаваемые ей в ходе заседания вопросы. С рядом высказанных замечаний соискатель согласилась.

Заключение.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация Заграй Ираиды Александровны «Методология комплексного исследования характеристик излучения и пирометрирования рабочих сред энергетических

установок» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным пп. 9, 10, 11, 13, 14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 19 декабря 2024 г., протокол № 15, диссертационный совет принял решение за новые научно обоснованные технико-технологические решения и новые результаты экспериментальных и теоретических исследований характеристик излучения многофазных и многокомпонентных рабочих сред энергетических установок, пирометрического определения температуры гетерогенных рабочих смесей, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие энергетической отрасли страны, присудить Заграй И.А. ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 15, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

диссертационного совета

Дмитриев Андрей Владимирович

Ученый секретарь

диссертационного совета

Борисова Светлана Дмитриевна

«19» декабря 2024 г.



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Дмитриева А.В. Борисова С.Д.
подпись _____
Специалист ОК _____ Коштракшанова С.А.