

На правах рукописи

Сысоева Маргарита Олеговна

**ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ
СПЕКТРАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОВОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ ДИСПЕРСНОЙ СРЕДЫ С
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МИКРОЧАСТИЦ**

Специальность 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая
теплотехника

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Бийск 2008

Работа выполнена в Бийском технологическом институте (филиал) ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук, доцент
Галенко Юрий Анатольевич

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор
Архипов Владимир Афанасьевич,
доктор физико-математических наук, профессор
Мышкин Вячеслав Федорович

Ведущая организация: Институт проблем химико-энергетических технологий
СО РАН

Защита состоится 23 декабря 2008 года в _____ часов на заседании диссертационного совета ДС 212.267.13 при ГОУ ВПО «Томский государственный университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Томского государственного университета по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

Автореферат разослан _____ ноября 2008 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук



Ю.Ф. Христенко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Дисперсные среды часто встречаются в природе и образуются в различных технологических процессах, в частности, при горении высокоэнергетических материалов (ВЭМ).

Знание характеристик дисперсных сред необходимо при решении многих прикладных задач. При исследовании горения требуется информация о температуре частиц, их размерах, концентрации. Эта информация может использоваться и для других целей, в частности, для определения эффективности природоохранных мероприятий.

При исследовании характеристик дисперсных сред применяют два взаимосвязанных подхода: расчетные оценки и непосредственные измерения.

Измерения позволяют получить объективную информацию об исследуемых процессах, однако, их недостатками являются, применимость результатов лишь к тем условиям, в которых они получены, трудоемкость и дороговизна.

Обобщить результаты и существенно расширить область их применения позволяют расчетные методы, использующие теорию подобия и математическое моделирование исследуемых процессов.

В этой связи настоящая работа посвящена разработке математических моделей, алгоритмов расчета и программных средств для описания теплового излучения поглощающей, излучающей и рассеивающей среды, что

позволит сократить сроки научных и конструкторских разработок средств диагностики высокотемпературных дисперсных потоков.

Целью диссертационной работы является определение закономерностей, связывающих спектральный коэффициент теплового излучения (СКТИ) дисперсной среды с характеристиками частиц.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие основные **задачи исследования**:

- доработка математической модели распространения излучения в дисперсной среде в части определения СКТИ частиц;
- численные исследования взаимосвязей СКТИ дисперсной среды с характеристиками частиц;
- сопоставление результатов численных исследований с экспериментальными данными;
- конкретизация области практического применения установленных закономерностей.

Объектом исследования является СКТИ потока микрочастиц. В рамках этого объекта **предметом исследования** являются взаимосвязи СКТИ с характеристиками частиц. Для определения взаимосвязей используются численные методы исследования.

Научная новизна полученных автором результатов заключается в следующем:

- модифицирована математическая модель распространения излучения в дисперсной среде в части определения СКТИ частиц $\varepsilon(\lambda)$;

- численными исследованиями установлены следующие закономерности, связывающие характеристики частиц с коэффициентом излучения:
 - а) выявлен параметр, величина которого функционально связана с диаметром частиц и наименее подвержена влиянию помех. Таким параметром для окиси алюминия является длина волны λ_{\min} , соответствующая минимуму зависимости $\varepsilon(\lambda)$;
 - б) определены зависимости, связывающие величину λ_{\min} для моно- и полидисперсных сред с диаметром частиц и оптическими характеристиками материала;
- предложен (и защищен патентом) экспресс-метод оценки диаметра частиц по тепловому излучению дисперсного потока.

Основные положения, выносимые на защиту:

- математическая модель распространения излучения в дисперсной среде в части определения СКТИ $\varepsilon(\lambda)$ потока микрочастиц;
- программное обеспечение, реализующее модель $\varepsilon(\lambda)$;
- результаты численных исследований взаимосвязей СКТИ с характеристиками частиц, в том числе: параметр, характеризующий влияние диаметра частиц на СКТИ потока: длина волны λ_{\min} , соответствующая наиболее явно выраженному экстремуму зависимости $\varepsilon(\lambda)$; модели $\lambda_{\min}(d, n, \chi)$ и $\lambda_{\min}(D_{32}, n, \chi)$, описывающие влияние диаметра частиц d (или D_{32}) и оптических характеристик материала (n и χ) на величину λ_{\min} , для моно- и полидисперсных сред;

- оценка влияния на СКТИ профиля температуры в потоке;
- практическое применение установленных взаимосвязей в предлагаемом экспресс-методе оценки диаметра частиц по тепловому излучению дисперсного потока.

Практическая значимость результатов теоретических исследований состоит в том, что разработанная математическая модель, расчетные алгоритмы и программные средства могут быть использованы для моделирования теплового излучения дисперсных сред в диапазонах спектра, свободных от излучения газа, а установленные взаимосвязи позволяют совершенствовать методы диагностики высокотемпературных потоков частиц.

Достоверность и обоснованность полученных результатов и выводов диссертационной работы подтверждается физической обоснованностью применяемых моделей дисперсной среды, корректностью математической постановки решаемых задач, использованием требуемого комплекса методов исследований, достаточным объемом полученных результатов численных исследований, их глубокой проработкой и сопоставлением с результатами экспериментов, а также с известными теоретическими данными других авторов.

Личный вклад автора. Все результаты численных исследований, вошедших в диссертацию, получены лично автором. Подавляющее большинство исследований выполнено при непосредственном участии автора, которое заключается в постановке задачи, выборе средств

достижения цели, разработке компьютерных программ расчета, проведении численных исследований, сравнении теоретических результатов с экспериментальными данными, обсуждении полученных результатов и коррекции на их основе дальнейших исследований.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

1) IV Международной научно-практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности» (Санкт-Петербург, 2007);

2) VIII Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (Новосибирск, 2007);

3) X, XI региональных конференциях по математике «МАК-2007», «МАК-2008» (Барнаул, 2007, 2008);

4) Всероссийской научно-практической конференции «Фундаментальные науки и образование» (Бийск, 2006).

Внедрение результатов работы. Основные результаты диссертационной работы реализованы и внедрены:

- в Институте проблем химико-энергетических технологий СО РАН (г. Бийск) в комплексе программ расчета коэффициента излучения микрочастиц;
- в Бийском технологическом институте в курсах лекций по дисциплинам «Математические основы информационно-измерительной техники», «Методы и средства измерений» при подготовке инженеров по специальности 200106 «Информационно-

измерительная техника и технологии» на факультете информационных технологий, автоматизации и управления.

Публикации. Результаты диссертационной работы изложены в 14 работах, из них 3 в журналах, рекомендованных ВАК, 5 в материалах конференций, 2 в отчетах о НИР, и защищены 2 патентами РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из перечня условных обозначений и сокращений, введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложения. Общий объем диссертационной работы составляет 181 страница, включая 37 рисунков, 5 таблиц и библиографический список литературы из 100 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** описано современное состояние проблемы, обоснована актуальность и сформулирована цель диссертационного исследования. Представлено краткое содержание диссертационной работы по главам, изложены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу литературных данных по экспериментальным и теоретическим (расчетным) методам исследования продуктов сгорания ВЭМ, физическим основам взаимодействия теплового излучения дисперсной среды с однородной сферической частицей, а также особенностям распространения излучения в моно- и полидисперсных средах. Рассмотрены современные методы

определения параметров теплового излучения продуктов сгорания и характеристик конденсированных частиц. Отмечено, что для исследования теплового излучения дисперсных сред перспективным является математическое моделирование исследуемых процессов и проведение численных экспериментов. Выявлены факторы, влияющие на формирование спектра теплового излучения дисперсных сред:

- а) рассеяние излучения частицами среды;
- б) интерференция падающей и вторичной волны;
- в) наложение на спектр излучения частиц спектров

излучения и поглощения газа,

а также факторы, которые необходимо учитывать при моделировании:

- а) процессы рассеяния и дифракции;
- б) работоспособность модели при размере частиц, соизмеримым с длиной волны излучения;
- в) возможность использования различных подходов для создания модели.

На основе выполненного анализа методов исследования продуктов сгорания ВЭМ и выше перечисленных факторов выбран теоретический метод исследования СКТИ. Для моделирования $\varepsilon(\lambda)$ дисперсной среды выбрана модель излучения, основанная на решении уравнения переноса, использующая теорию Ми.

Вторая глава содержит физико-математическое описание объекта и метода его исследования.

В основу математического описания процесса распространения теплового излучения положено уравнение

переноса излучения для плоскопараллельного слоя поглощающей, излучающей и рассеивающей дисперсной среды в случае осевой симметрии.

В качестве основных приближений приняты следующие: плоская геометрия, однородность дисперсной среды, сферическая форма частиц, однократность рассеяния излучения частицами, термодинамическое равновесие, осевая симметрия, усреднение углового распределения интенсивности по двум полупространствам.

Уравнение переноса излучения для данного случая имеет вид:

$$\begin{aligned} \cos \theta \frac{\partial I_{\lambda}(\tau_{\lambda}, \omega)}{\partial \tau_{\lambda}} = & -I_{\lambda}(\tau_{\lambda}, \omega) + (1 - \gamma_{\lambda}) I_{0\lambda}[T(\tau_{\lambda})] + \\ & + \frac{\gamma_{\lambda}}{4\pi} \int_0^{4\pi} I_{\lambda}(\tau_{\lambda}, \omega') I_{\lambda}(\omega', \omega) d\omega', \end{aligned} \quad (1)$$

где θ – угол между направлением хода рассеянного луча и осью Oz , нормальной к поверхности; $I_{\lambda}(\tau_{\lambda}, \omega)$ и $I_{\lambda}(\tau_{\lambda}, \omega')$ – интенсивности рассеянного и падающего излучения соответственно; $I_{0\lambda}[T(\tau_{\lambda})]$ – интенсивность излучения абсолютно черного тела на пути τ_{λ} ; $I_{\lambda}(\omega', \omega)$ – индикатриса рассеяния излучения; τ_{λ} – оптическая толщина слоя среды; ω и ω' – телесные углы, характеризующие направления распространения рассеянного и падающего излучения соответственно; $\gamma_{\lambda} = \frac{k_{\lambda p}}{k_{\lambda n} + k_{\lambda p}}$ – альбедо рассеяния.

Количественные характеристики рассеянного излучения, входящие в уравнение переноса, (индикатриса

рассеяния $I_\lambda(\beta)$, где β – угол рассеяния, спектральные коэффициенты рассеяния $k_{\lambda p}$ и поглощения $k_{\lambda n}$) определялись по теории Ми, что позволило выполнять расчеты в широком диапазоне длин волн, включающем величины λ , соизмеримые с диаметром частиц d .

Уравнение переноса излучения (1) решено с помощью приближения Эддингтона, получены аналитические решения для СКТИ в случаях конечного (2), полубесконечного (3) слоев дисперсной среды, а также при наличии внешнего слоя с линейно изменяющимся профилем температуры (4):

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{q_\lambda(\tau_\lambda)}{q_{0\lambda}(\tau_\lambda)}, \quad (2)$$

где $q_{0\lambda}(\tau_\lambda)$ и $q_\lambda(\tau_\lambda)$ – плотности монохроматических потоков теплового излучения абсолютно черного тела и дисперсной среды;

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{4 \cdot \varepsilon_w}{2 \cdot (2 - \varepsilon_w) + \sqrt{3} \cdot \varepsilon_w \cdot R}; \quad (3)$$

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{4 \cdot \varepsilon_w \cdot \left[1 - e^{-\sqrt{3} \cdot (1 - \gamma_\lambda) \cdot \tau_\lambda^{**} \cdot R} \right]}{\tau_\lambda^{**} \cdot \left[2 \cdot (2 - \varepsilon_w) + \sqrt{3} \cdot \varepsilon_w \cdot R \right] \sqrt{3} \cdot (1 - \gamma_\lambda) \cdot R}, \quad (4)$$

где ε_w – СКТИ поверхности, ограничивающей среду, τ_λ^{**} – оптическая толщина внешнего слоя,

$$R = \sqrt{1 + (1 - \Gamma_\lambda) \cdot \frac{k_{\lambda p}}{k_{\lambda n}}},$$

$$\Gamma_\lambda = \frac{1}{2} \int_0^\pi I_\lambda(\beta) \cos \beta \sin \beta \, d\beta.$$

При рассмотрении полидисперсных сред расчет СКТИ осуществлялся аналогично случаю монодисперсной среды с использованием усредненных по диаметру спектральных коэффициентов рассеяния, поглощения и индикатрисы рассеяния.

Границы применимости предлагаемых математических моделей определены рамками используемых приближений.

Третья глава посвящена созданию комплекса компьютерных программ, реализующих модели СКТИ моно- и полидисперсного потоков микрочастиц.

Для программной реализации математических моделей в качестве инструментария выбрана среда программирования Delphi 7, что позволило сосредоточиться на важных частях проекта и освободиться от рутинной работы создания интерфейса программы.

Комплекс компьютерных программ состоит из двух основных программ, рассчитывающих СКТИ моно- и полидисперсных сред, и ряда процедур. В случае полидисперсной среды в состав комплекса входит процедура, позволяющая получать требуемый вид функции распределения за счет варьирования ее параметров.

Первоначально задают исходные данные: диаметр, оптические постоянные материала частицы, диапазон используемых в расчетах длин волн, количество узлов разбиения этого диапазона, количество точек разбиения по углу рассеяния при нормализации индикатрисы рассеяния и при вычислении параметра Γ_λ . Для полидисперсной среды также указывают диапазон значений диаметра частиц,

количество узлов его разбиения и параметры функции обобщенного гамма-распределения.

Далее вычисляют интервал $\Delta\lambda$ между точками, в которых определяется значение $\varepsilon(\lambda)$, интервалы $\Delta\beta$ и $\Delta\beta_1$ для вычисления поправочного коэффициента при нормализации индикатрисы рассеяния излучения и параметра $\Gamma(\beta, \lambda)$ соответственно. В случае полидисперсной среды также рассчитывается интервал по диаметру Δd .

Затем по максимальному значению параметра дифракции рассчитывают предел суммирования в рядах для спектральных коэффициентов ослабления, рассеяния и индикатрисы рассеяния на основе подпрограммы-функции FLOOR. Для полидисперсной среды эта процедура выполняется для каждого значения длины волны в цикле по диаметру.

В подпрограмме-процедуре RYAD вычисляются величины $k_\lambda(\rho, \hat{n})$, $k_{\lambda n}(\rho, \hat{n})$, $k_{\lambda p}(\rho, \hat{n})$ и $I_\lambda(\rho, \beta)$.

В зависимости от значений анализируемого признака Tau ($Tau=1$ или $Tau=0$) соответственно вычисляют оптическую толщину внешнего слоя среды с линейным профилем температуры или вычисление игнорируется.

В результате работ головной программы и подпрограмм вычисляют значения ε в зависимости от λ , рассчитываемые по формулам (3) или (4) в зависимости от отсутствия или наличия внешнего слоя соответственно.

Приведены блок-схемы порядка вычислений СКТИ потока микрочастиц. Описаны логика и структура подпрограмм, используемых при расчете, в частности,

процедуры расчета спектральных коэффициентов ослабления, поглощения, рассеяния и индикатрисы рассеяния излучения.

В четвертой главе представлены результаты численных исследований взаимосвязей СКТИ моно- и полидисперсных сред с характеристиками частиц.

Работоспособность модели СКТИ потока микрочастиц подтверждена сравнением полученных результатов с результатами других авторов. Наблюдается достаточно хорошее совпадение результатов, в части расчета характеристик светорассеяния и СКТИ средние квадратические отклонения составили не более 5%.

С помощью разработанной модели и реализующего модель комплекса программ получены зависимости СКТИ монодисперсной среды от длины волны для веществ с существенно различающимися оптическими характеристиками (углерода, воды, окиси алюминия). Анализ зависимостей $\varepsilon(\lambda)$ показал, что величина СКТИ дисперсной среды и вид графика в значительной мере определяются материалом частиц, коротковолновая область зависимости может содержать ярко выраженные экстремумы, объясняемые, по-видимому, дифракцией теплового излучения на частицах, в области длинных волн СКТИ перестает зависеть от материала частицы и стремится к определенному асимптотическому значению. Следовательно, тепловое излучение дисперсной среды, как правило, не является серым. СКТИ потока частиц может существенно отличаться от СКТИ материала частиц.

Исследовано положение длины волны, соответствующей минимуму СКТИ, λ_{\min} в зависимости от диаметра частиц. Проводились две серии вычислений зависимости $\varepsilon(\lambda)$. В первой серии единственным влияющим фактором был диаметр частиц, оптические характеристики материала считались независящими от длины волны (рисунок 1). При увеличении диаметра частицы положение экстремума λ_{\min} графика $\varepsilon(\lambda)$ смещается в сторону длинных волн.

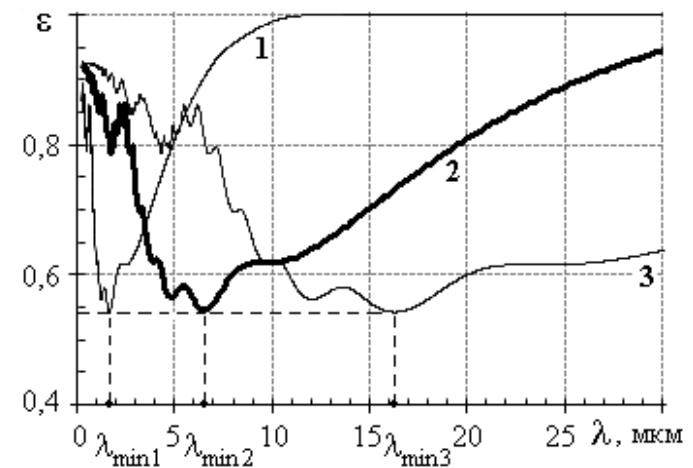
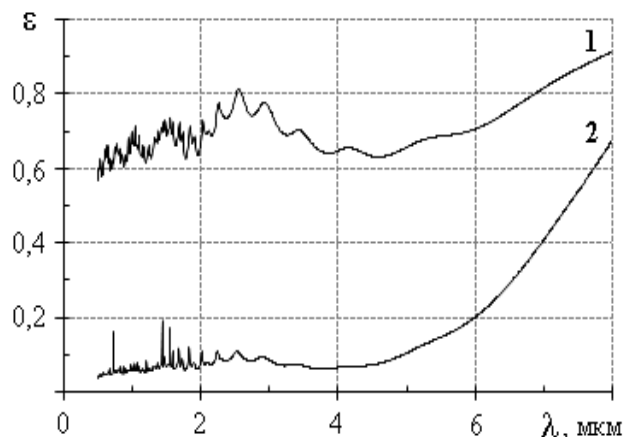


Рисунок 1 – Влияние размера частиц на вид зависимости $\varepsilon(\lambda)$ для среды, содержащей частицы Al_2O_3 диаметром 1 мкм (1), 4 мкм (2), 10 мкм (3)

Зависимости между размером частиц окиси алюминия, углерода и длиной волны λ_{\min} аппроксимированы: для окиси алюминия – $\lambda_{\min}(d) = 1,626 \cdot d + 3 \cdot 10^{-9}$ [мкм], для углерода – $\lambda_{\min}(d) = 1,403 \cdot d$ [мкм].

Во второй серии вычислений учтена зависимость комплексного показателя преломления \hat{n} от длины волны λ . Влияние агрегатного состояния на СКТИ частиц окиси алюминия с учетом зависимости $\hat{n}(\lambda)$ иллюстрирует рисунок 2. Диаметр частиц 4 мкм.



1 – частицы в жидком состоянии, 2 – в твердом состоянии

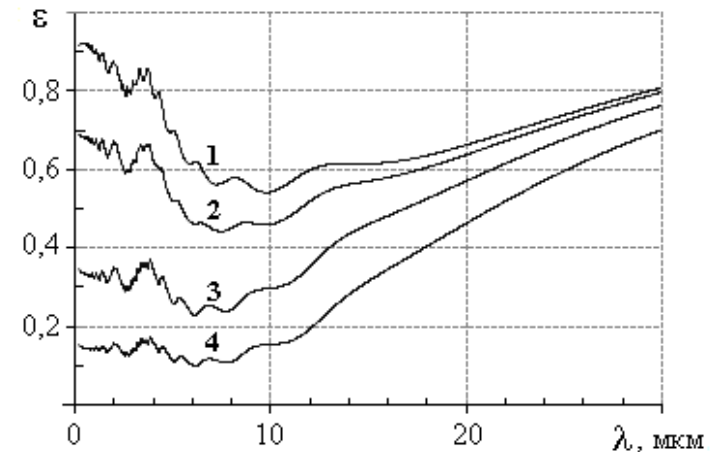
Рисунок 2 – Зависимость $\varepsilon(\lambda)$ среды с частицами Al_2O_3

При изменении агрегатного состояния частиц среды происходит изменение среднего значения СКТИ, характер кривой $\varepsilon(\lambda)$ и положения экстремумов сохраняются.

Полученные результаты показывают, что между размером частиц дисперсной среды и положениями экстремумов зависимости $\varepsilon(\lambda)$ имеется функциональная зависимость. Когда оптические характеристики материала частиц не зависят от длины волны излучения, эта зависимость линейна.

Проведены оценочные расчеты влияния профиля температуры в потоке на вид зависимости СКТИ

(рисунок 3). Исследовалась дисперсная среда, состоящая из двух слоев: внутреннего и внешнего с линейно изменяющимся профилем температуры. Показано, что внешний слой заметно ослабляет излучение и влияет на положения экстремумов СКТИ.



1 – среда без внешнего слоя; 2 – $\tau_{2,5}^{**} = 0,8$;
 3 – $\tau_{2,5}^{**} = 3,3$; 4 – $\tau_{2,5}^{**} = 8,3$ ($\tau_{2,5}^{**}$ – значение оптической
 толщины внешнего слоя для $\lambda = 2,5$ мкм)

Рисунок 3 – СКТИ среды с частицами Al_2O_3
 диаметром 6 мкм

Расчеты показывают, что при оптической толщине дисперсной среды $\tau < 6 \cdot 10^{-8}$ зависимость $\varepsilon(\lambda)$ осложнена многочисленными флуктуациями, что затрудняет ее использование для определения диаметра частиц. Таким образом, область применения модели ограничена снизу величиной $\tau \approx 6 \cdot 10^{-8}$, а сверху – условиями применимости закона Бугера.

Установлено, что закономерностью для полидисперсных сред так же, как и для монодисперсных сред, является наличие функциональной зависимости λ_{\min} от диаметра (рисунок 4). Кривые 2, 3 получены с учетом зависимостей $n(\lambda)$ и $\chi(\lambda)$, а 1, 4 – в предположении, что величины n и χ от λ не зависят.

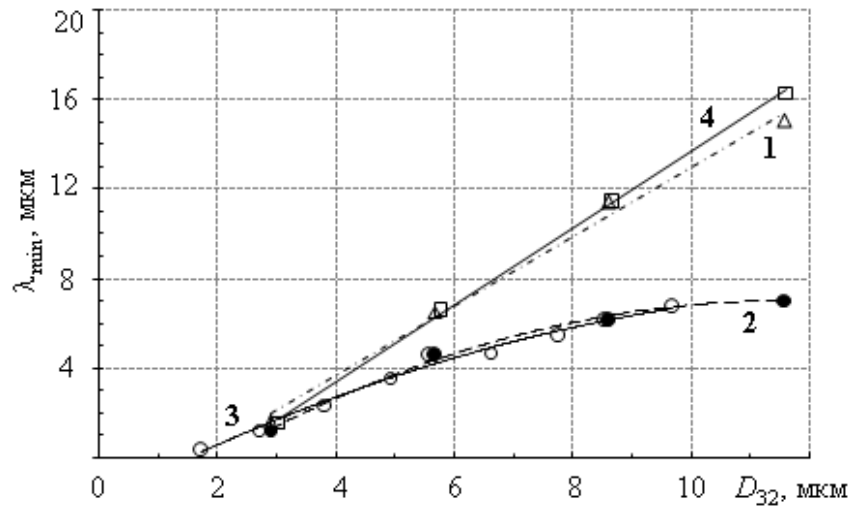


Рисунок 4 – Зависимости λ_{\min} от D_{32}

При учете $n(\lambda)$ и $\chi(\lambda)$ зависимость $\lambda_{\min}(D_{32})$ не линейна и для окиси алюминия описывается полиномом второй степени.

Результаты численных исследований позволили выявить наиболее значимые факторы, влияющие на СКТИ потока частиц: размер частиц d (или D_{32}) и оптические константы материала частиц n и χ .

С применением метода наименьших квадратов получены модели $\lambda_{\min}(d, n, \chi)$ и $\lambda_{\min}(D_{32}, n, \chi)$, связывающие длину волны λ_{\min} с диаметром и оптическими характеристиками материала частиц. При этом неопределенность оптических констант n и χ рассматривалась как фактор, вносящий погрешность в модели $\lambda_{\min}(d)$ и $\lambda_{\min}(D_{32})$. В случае монодисперсной среды модель описывается уравнением:

$$\lambda_{\min} = (4,26 \pm 0,14) + (2,55 \pm 0,09) \cdot x_1 + (-0,10 \pm 0,08) \cdot x_3 + (-0,58 \pm 0,15) \cdot x_1^2 + (0,16 \pm 0,14) \cdot x_2^2 \text{ [мкм]},$$

полидисперсной среды – уравнением:

$$\lambda_{\min} = (3,85 \pm 0,40) + (2,41 \pm 0,54) \cdot x_1 \text{ [мкм]},$$

где x_1 , x_2 и x_3 – значения в стандартизованном масштабе диаметра d (D_{32}), показателя преломления n и главного показателя поглощения χ материала частицы соответственно (величины без размерности), коэффициенты регрессии и их дисперсии выражены в микрометрах.

Значение среднего квадратического отклонения, вызванного неопределенностью исходных данных $n(\lambda)$ и $\chi(\lambda)$, в случае монодисперсной среды составило 0,11 мкм.

Для проверки адекватности моделей $\lambda_{\min}(d, n, \chi)$ и $\lambda_{\min}(D_{32}, n, \chi)$ выполнен анализ спектров излучения составов ВЭМ с известным средним объемно-поверхностным диаметром частиц $D_{32}^{расч}$.

Рассчитывалось распределение коэффициента излучения продуктов сгорания по длине волны. Для

определения коэффициента излучения частиц вносилась поправка, учитывающая спектральную полосу излучения воды. На экспериментальных зависимостях $\varepsilon(\lambda)$ оценивалась величина λ_{\min} , и с помощью моделей $\lambda_{\min}(d)$ и $\lambda_{\min}(D_{32})$ вычислялись значения средних диаметров частиц. Результаты расчетов $d^{\text{эксн}}$ и $D_{32}^{\text{эксн}}$ сведены в таблицу.

Таблица – Результаты оценочных расчетов d и D_{32}

| ВЭМ | λ_{\min} , мкм | $D_{32}^{\text{расч}}$, мкм | Результаты, полученные с помощью разработанной модели СКТИ потока частиц | | | | |
|-----|---------------------------|---------------------------------|--|------------------------------|---------------|--------------|---------------|
| | | | $d^{\text{эксн}}$, мкм | $D_{32}^{\text{эксн}}$, мкм | | | |
| | | | | рис.4 (1) | рис. 4 (2) | рис.4 (3) | рис. 4 (4) |
| № 1 | 1,8 | 2,8 | 1,1 | 3,1 | 3,2 | 3,2 | 2,8 |
| № 2 | 1,8 | 2,7 | 1,1 | 3,1 | 3,1 | 3,2 | 2,8 |
| № 3 | 2,9 | 3,1 | 1,8 | 3,8 | 4,3 | 4,2 | 3,5 |

Анализ полученных результатов показал, что в реальных продуктах сгорания наблюдается общая тенденция смещения длины волны, соответствующей минимуму СКТИ потока частиц, в сторону длинных волн с ростом размера частиц, кроме того, экспериментальные и расчетные значения диаметров отличаются незначительно, что подтверждает адекватность разработанных моделей.

В качестве практического применения установленных закономерностей разработан экспресс-метод оценки диаметра частиц по тепловому излучению дисперсного потока. Предлагаемый метод основывается на сравнении результатов моделирования и измерения зависимости $\varepsilon(\lambda)$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В рамках диссертационной работы:

1. Модифицирована математическая модель распространения излучения в дисперсной среде в части определения СКТИ частиц $\varepsilon(\lambda)$.
2. Численными исследованиями установлены следующие закономерности, связывающие характеристики частиц с коэффициентом излучения:
 - выявлен параметр, величина которого функционально связана с диаметром частиц и наименее подвержена влиянию помех. Таким параметром для окиси алюминия является длина волны λ_{\min} , соответствующая минимуму зависимости $\varepsilon(\lambda)$;
 - определены зависимости, связывающие величину λ_{\min} для моно- и полидисперсных сред с диаметром частиц и оптическими характеристиками материала.
3. Оценено влияние профиля температуры на вид зависимости СКТИ.
4. Предложен (и защищен патентом) экспресс-метод оценки диаметра частиц по тепловому излучению дисперсного потока.
5. Результаты работы внедрены с Института проблем химико-энергетических технологий СО РАН в комплексе программ расчета коэффициента излучения микрочастиц и используются в Бийском технологическом институте в курсах лекций, читаемых на факультете информационных технологий, автоматизации и управления.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Галенко, Ю.А. Особенности формирования и моделирования спектра излучения дисперсных сред [Текст]/ Ю.А. Галенко, М.О. Сысоева// Фундаментальные науки и образование: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Бийск, 1-4 февраля 2006 г.)/ Бийский пед. гос. ун-т им. В.М. Шукшина. – Бийск: БПГУ им. В.М. Шукшина. – 2006. – С. 75-80.

2. Пат. 2298159 Российская Федерация, МПК G 01 J 5/60. Способ определения температуры, коэффициента излучения и среднего диаметра частиц дисперсной среды [Текст]/ Галенко Ю.А., Сысоева М.О.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Алтайский государственный университет им. И.И. Ползунова. – № 2006104749/28; заявл. 15.02.06; опубл. 27.04.07, Бюл. № 12.

3. Пат. 2303296 Российская Федерация, МПК G09B 23/22. Имитатор излучения дисперсной среды [Текст]/ Галенко Ю.А., Сысоева М.О.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Алтайский государственный университет им. И.И. Ползунова. – № 2006104750/28; заявл. 15.02.06; опубл. 20.07.07, Бюл. № 20.

4. Математическое моделирование сложных систем в наукоемких производствах [Текст]: отчет о НИР (промежуточ.): БТИ (филиал) АлтГТУ; рук. Галенко Ю.А. – Бийск, 2006. – 20 с. – Исполн.: Сысоева М.О., Лушев В.П., Пузанов В.Н. – Библиогр: с. 20. – № ГР 0120.0509656. – Инв. № 02.2.007 00676.

5. Галенко, Ю.А. Некоторые вопросы пирометрии дисперсных сред и моделирования их излучения [Текст]/ Ю.А. Галенко, М.О. Сысоева// Ползуновский вестник. – 2006. – № 2. – С. 39-40.

6. Галенко, Ю.А. Модель ослабления излучения дисперсной средой с учетом характеристик рассеивающих частиц [Текст]/ Ю.А. Галенко, М.О. Сысоева// Материалы десятой региональной конференции по математике «МАК-2007». – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2007. – С. 102-103.

7. Математическое моделирование сложных систем в наукоемких производствах [Текст]: отчет о НИР (промежуточ.): /БТИ (филиал) АлтГТУ; рук. Галенко Ю.А. – Бийск, 2007. – 57 с. – Исполн.: Галенко Ю.А., Сысоева М.О. – Библиогр: с. 56-57. – № ГР 0120.0509656. – Инв. № 02.2.007 04716.

8. Галенко, Ю.А. Моделирование СКТИ дисперсной среды с учетом индикатрисы рассеяния и материала частиц [Текст]/ Ю.А. Галенко, М.О. Сысоева// Сборник трудов IV международной научно-практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности» (02-05 октября г. Санкт-Петербург). – 2007. – Т. 11. – С. 160-162.

9. Галенко, Ю.А. Результаты численного исследования влияния характеристик частиц на СКТИ дисперсной среды [Текст]/ Ю.А. Галенко, М.О. Сысоева// Сборник трудов VIII Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (27-29 ноября г. Новосибирск). – 2007. – С. 40.

10. Галенко, Ю.А. Моделирование СКТИ полубесконечной дисперсной среды [Текст]/ Ю.А. Галенко, М.О. Сысоева// Ползуновский вестник. – 2008. – № 1-2. – С. 28-32.

11. Галенко, Ю.А. О возможности определения среднего диаметра частиц по эмиссионному спектру дисперсной среды [Текст]/ Ю.А. Галенко, М.О. Сысоева// Ползуновский вестник. – 2008. – № 1-2. – С. 53-55.

12. Ворожцов, А.Б. Численные исследования влияния рассеяния на спектр теплового излучения полидисперсных сред [Текст]/ А.Б. Ворожцов, Ю.А. Галенко, М.О. Сысоева// Материалы одиннадцатой региональной конференции по математике «МАК-2008». – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2008. – С. 125-127.

13. Ворожцов, А.Б. Исследование взаимосвязи характеристик частиц со спектром их теплового излучения [Текст]/ А.Б. Ворожцов, Ю.А. Галенко, М.О. Сысоева// Известия вузов. Физика. – 2008. – № 8/2. – С. 101-106.

14. Галенко, Ю.А. К вопросу о возможности управления эмиссионными спектрами пиротехнических составов [Текст]/ Ю.А. Галенко, А.Б. Ворожцов, А.А. Павленко, Е.В. Максименко, О.Б. Кудряшова, М.О. Сысоева// Известия вузов. Физика. – 2008. – № 8/2. – С. 122-124.

Подписано в печать 17.11.08 г. Печать – ризография.

Заказ 2008- . Усл. печ. л. – 1,4 . Тираж 100 экз.

Отпечатано в ИИО БТИ АлтГТУ

659305, Алтайский край, г. Бийск, ул. Трофимова, 27