

УДК 535.2/4: 621.4

Кутергина Н.А., к.т.н.

доцент кафедры электрических станций

Вятский государственный университет, г. Киров

Kutergina N.A., Candidate of Engineering Sciences

Associate Professor at the Department of power stations

Vyatka state University, Kirov

ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ

***Аннотация:** В настоящей работе с помощью метода математического эксперимента проводится исследование характеристик теплового излучения гетерогенных продуктов сгорания энергетических установок ТЭЦ для решения различных технических задач, возникающих при проектировании, конструировании и обслуживании таких установок.*

***Ключевые слова:** Энергетические установки ТЭЦ, тепловое излучение, гетерогенные продукты сгорания частиц, характеристики излучения.*

***Abstract:** In this paper, using the method of mathematical experiment, we study the characteristics of thermal radiation of heterogeneous combustion products of thermal power plants for solving various technical problems that arise in the design, construction and maintenance of such plants.*

***Keywords:** Power plants of thermal power Plants, thermal radiation, heterogeneous products of combustion of particles, radiation characteristics.*

На любой ТЭЦ работает большое количество различных энергетических установок, в гетерогенных продуктах сгорания которых

содержится огромное количество зольных частиц и частиц не полностью сгоревшего топлива. Чтобы увеличить срок работы таких установок и аппаратов, уменьшить отрицательное влияние выбросов на окружающую среду и получить полезные продукты переработки отходов, нужно решать проблему повышения качества сжигания топлива и снижения и уничтожения отработок в котлах-утилизаторах.

Для примера методом математического эксперимента вычислены и проведен анализ радиационных характеристик и характеристик излучения для энергетической установки Казанской ТЭЦ-2.

В исследованиях данной работы использована модель: рассматривается плоский слой со свободной границей, распределение температур и давлений различное, частицы сферической формы, входными данными являются термо- и газодинамические исходные параметры (массовая доля, химический состав веществ, входящих в гетерогенные продукты сгорания, концентрация, молярная масса и т.п.). Очень важными исходными данными являются комплексный показатель преломления, определяющий оптические свойства частиц конденсата: $m = n_1 - n_2 \cdot i$, здесь n_1 – это показатель преломления, а n_2 – это показатель поглощения частиц конденсированной фазы продуктов сгорания и параметр дифракции, характеризующий влияние на рассеяние и поглощение дифракционных явлений на частицах в зависимости от соотношения между размерами частиц и длиной волны падающего излучения: $\rho = 2\pi r/\lambda$; функция распределения частиц по размерам $f(r)$. Спектральный диапазон длин волн λ выбран в пределах от 1 до 5 мкм с шагом 0,1 мкм, с той целью, чтобы доля максимального излучения попала в этот диапазон. Математическая модель производит вычисление характеристик теплового излучения методом сферических гармоник в P_3 -приближении, а также радиационных характеристик частиц в программе «СПЕКТР», разработанной в ВятГУ под руководством д.т.н. Кузьмина В.А. на основе теории Ми и различных

приближений для больших и малых частиц, что подробно рассмотрено в работах [1, 2]. При высоких температурах радиационные свойства газов вычисляются методами, описанными в работе [3].

Уравнение переноса энергии излучения для поглощающей, рассеивающей и излучающей среды задается так:

$$(\Omega \nabla) I(r, \Omega) + k_\lambda I(r, \Omega) = \beta_\lambda \int_{4\pi} I(r', \Omega') \gamma(r, r', \Omega \hat{\Omega}') d\omega' + \alpha_\lambda I_0(r).$$

Для полидисперсных систем радиационные характеристики излучения единичного объема (коэффициенты ослабления k , 1/мм, поглощения α , 1/мм и рассеяния β , 1/мм) вычисляются так:

$$k = N \cdot \int_0^\infty \sigma_{осл}(r) f(r) dr, \quad \alpha = N \cdot \int_0^\infty \sigma_{погл}(r) f(r) dr, \quad \beta = N \cdot \int_0^\infty \sigma_{рас}(r) f(r) dr, \quad \gamma = \int_0^\infty \gamma_0(r) f(r) dr,$$

здесь N – числовая концентрация.

Радиационные характеристики излучения индивидуальных частиц (сечения ослабления $\sigma_{осл}$, мкм², рассеяния $\sigma_{рас}$, мкм² и поглощения $\sigma_{погл}$, мкм²) находятся таким образом:

$$\sigma_{осл} = \pi^2 K_{осл}(m, \rho), \quad \sigma_{рас} = \pi^2 K_{рас}(m, \rho), \quad \sigma_{погл} = \sigma_{осл} - \sigma_{рас},$$

где r – радиус частиц, m – комплексный показатель преломления и ρ – параметр дифракции.

Спектральные плотности потоков (F_λ , Вт/(см²·мкм)) и интегральные плотности потоков (F , Вт/см²), проходящие через единицу площади поверхности, перпендикулярной направлению нормали:

$$F_\lambda = \int_{\Omega} I(r, \Omega) \Omega n d\Omega, \quad F = \int_0^\infty F_\lambda d\lambda.$$

Спектральные и интегральные степени черноты (ε_λ и ε) находятся как:

$$\varepsilon_\lambda = F_\lambda / F_{\lambda, АЧТ}, \quad \varepsilon = \int_0^\infty \varepsilon_\lambda d\lambda.$$

Исходные данные для настоящей работы взяты из работ [4; 5].

На рис. 1 показаны графики полученных характеристик излучения продуктов сгорания (спектральные распределения плотности потока и степени черноты от длины волны).



Рис.1. Спектральное распределение плотности потока и спектральная зависимость степени черноты от длины волны.

Проведенный анализ результатов показывает, что спектральное распределение плотности потока лежит в пределах значений от $4,60 \cdot 10^{-4}$ Вт/(см²·мкм) до $2,00 \cdot 10^{-1}$ Вт/(см²·мкм), а спектральная зависимость степени черноты изменяется в интервале значений от $2,73 \cdot 10^{-1}$ до $4,65 \cdot 10^{-1}$. С увеличением длины волны характеристики излучения индивидуальных частиц возрастают. Понижение температуры усиливает полосы поглощения газовой фазы. Повышение температуры гетерогенных продуктов сгорания смещает максимум излучения в сторону коротких длин волн из-за излучения частиц. Пики газовой фазы на полученных графиках это проявление химических компонентов H₂O ($\lambda=1,7$ мкм), CO ($\lambda=2,3$ мкм; $\lambda=4,7$ мкм), HCl ($\lambda=3,4$ мкм).

Для проверки правильности результатов исследований сделаны сравнения с результатами, полученными в работе [4]. Графики имеют

аналогичный характер, абсолютная погрешность вычислений около 4-5% [5].

Полученные в настоящей работе результаты позволяют дать некоторые рекомендации при конструировании и обслуживании энергоустановок ТЭЦ, что является немаловажным для развития современного производства, совершенствования имеющихся энергоустановок и технических аппаратов.

Литература (источники):

1. Кузьмин В.А., Маратканова Е.И. Комплексная программа расчета характеристик излучения гетерогенных продуктов сгорания // Совершенствование теории и техники тепловой защиты энергетических устройств: Тез. докл. Респ. конф. 26-28 мая 1987 г. Киев, 1987. – С. 69-70.

2. Кузьмин В.А. Тепловое излучение в двигателях и энергетических установках. Киров: ООО «Фирма «Полекс», 2004. - 231 с.

3. Каменщиков В.А., Пластинин Ю.А., Николаев В.М., Новицкий Л.А. Радиационные свойства газов при высоких температурах. М.: Машиностроение, 1971. – 440 с.

4. Таймаров М.А., Исследование излучательной способности конструкционных материалов и пылегазовых сред применительно к расчету теплообмена в котлах-утилизаторах: Дисс... докт. техн. наук. Казань, 1997. – 347 с.

5. Кутергина Н.А., Исследование теплового излучения продуктов сгорания энергетических установок методом вычислительного эксперимента: Дисс. ... канд. техн. наук. Казань, 2012 – 133 с.