

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*

## **ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК**

*Аннотация:* В работе проводится исследование характеристик теплового излучения продуктов сгорания различных энергетических установок с целью решения ряда технических проблем, возникающих при проектировании, разработке и эксплуатации энергоустановок.

*Ключевые слова:* Энергетические установки, тепловое излучение, продукты сгорания частиц.

*Abstract:* this paper studies the characteristics of thermal radiation of combustion products of various power plants in order to solve a number of technical problems that arise in the design, development and operation of power plants.

*Keywords:* Power plants, thermal radiation, products of particle combustion.

Современный мир трудно представить без развития производства, выпускаются и совершенствуются различные энергетические установки и аппараты химической промышленности, в продуктах сгорания топлива содержится довольно большое количество частиц несгоревшего топлива и золы. Для продления срока службы деталей и механизмов, для уменьшения

вредного воздействия на окружающую среду и получения полезных сопутствующих продуктов, для уменьшения нерационального использования топливно-энергетических ресурсов, необходимо решать проблему повышения эффективности сжигания топлива и уменьшения и нейтрализации отходов и выбросов в котлах-утилизаторах.

В денной работе проведено исследование характеристик теплового излучения гетерогенных продуктов сгорания энергетических установок: оптических свойств (комплексный показатель преломления), радиационных характеристик единичных частиц (сечения поглощения, рассеяния и ослабления), радиационных характеристик единичного объема (спектральные коэффициенты ослабления, поглощения и рассеяния) и характеристик излучения (спектральные и интегральные плотности потоков энергии излучения и степень черноты).

В исследованиях была принята следующая физическая модель: плоский слой со свободной границей, с разным распределением температур и давлений, форма частиц - сферическая и другие термо- и газодинамические исходные параметры (температура, давление, массовая доля, состав, концентрация и т.д.), постоянная функция распределения для конкретной энергетической установки. Спектральный диапазон  $\lambda=1..5$  мкм с шагом 0,1 мкм, чтобы доля максимального излучения попадала в этот диапазон. Математическая модель предусматривает вычисление характеристик излучения с помощью метода сферических гармоник в  $P_3$ -приближении, а также радиационных характеристик частиц по программе «СПЕКТР», разработанной в ВятГУ под руководством Кузьмина В.А. на основе теории Ми и различных приближений для больших и малых частиц [1; 2]. Радиационные свойства газов при высоких температурах рассчитываются при помощи методов, описанных в [3].

Важнейшими исходными параметрами являются комплексный показатель преломления, который определяет оптические свойства частиц

конденсата:  $m = n_1 - n_2 \cdot i$ , где  $n_1$  – показатель преломления,  $n_2$  – показатель поглощения частиц конденсированной фазы продуктов сгорания и параметр дифракции, который характеризует влияние на рассеяние и поглощение дифракционных явлений на частицах в зависимости от соотношения между размером частиц и длиной волны падающего излучения:  $\rho = 2\pi r/\lambda$ ; функция распределения частиц по размерам  $f(r)$ .

Уравнение переноса энергии излучения для поглощающей, рассеивающей и излучающей среды имеет следующий вид:

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

Для полидисперсных систем радиационные характеристики единичного объема (коэффициенты ослабления  $k$ , 1/мм, поглощения  $\alpha$ , 1/мм и рассеяния  $\beta$ , 1/мм):

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

где  $N$  – числовая концентрация.

Радиационные характеристики индивидуальных частиц (сечения ослабления  $\sigma_{осл}$ , мкм<sup>2</sup>, рассеяния  $\sigma_{рас}$ , мкм<sup>2</sup> и поглощения  $\sigma_{погл}$ , мкм<sup>2</sup>):  $\sigma_{осл} = \pi r^2 K_{осл}(m, \rho)$ ,  $\sigma_{рас} = \pi r^2 K_{рас}(m, \rho)$ ,  $\sigma_{погл} = \sigma_{осл} - \sigma_{рас}$ , где  $r$  – радиус частиц,  $m$  – комплексный показатель преломления и  $\rho$  – параметр дифракции.

Спектральные и интегральные плотности потоков ( $F_\lambda$ , Вт/(см<sup>2</sup>·мкм) и  $F$ , Вт/см<sup>2</sup>) через единицу площади поверхности, перпендикулярной направлению нормали:  $F_\lambda = \int_\Omega I(r, \Omega) \Omega n d\Omega$ ,  $F = \int_0^\infty F_\lambda d\lambda$ .

Спектральные и интегральные степени черноты ( $\varepsilon_\lambda$  и  $\varepsilon$ ) находятся как:  $\varepsilon_\lambda = F_\lambda / F_{\lambda_{АЧТ}}$ ,  $\varepsilon = \int_0^\infty \varepsilon_\lambda d\lambda$ .

В работе был произведен комплексный расчет теплового излучения для различных систем частиц рабочих сред действующих энергетических установок. Исходные данные взяты из работ [4; 5].

В качестве примера на рис. 1 показаны полученные характеристики излучения продуктов сгорания для котла УЭЧМ-67.

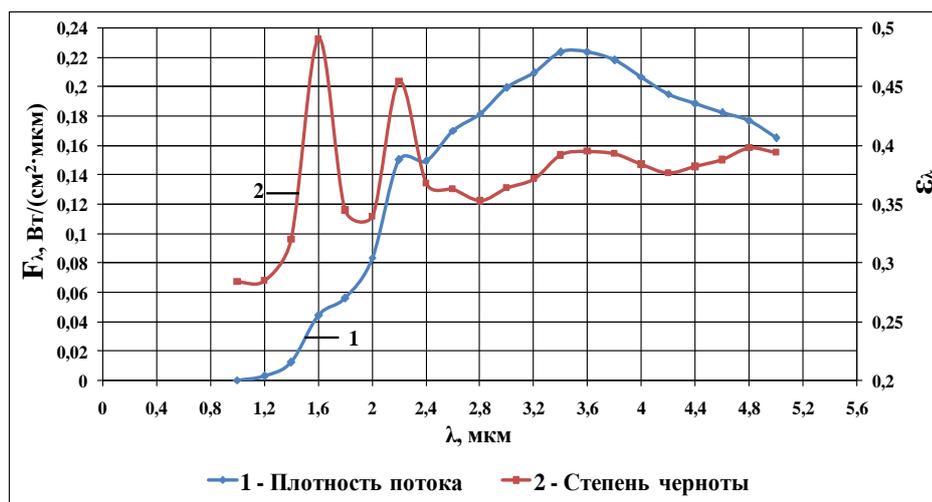


Рис.1. Характеристики излучения продуктов сгорания котла УЭЧМ-67.

Из полученных зависимостей видно, что спектральная зависимость степени черноты изменяется в пределах от  $2,84 \cdot 10^{-1}$  до  $4,91 \cdot 10^{-1}$ , а спектральное распределение плотности потока – в пределах от  $4,72 \cdot 10^{-4}$  до  $2,24 \cdot 10^{-1}$  Вт/(см<sup>2</sup>·мкм).

Для выявления достоверности проведенных исследований сделаны сравнения результатов, полученных в настоящей работе с результатами работы [4]. Полученные зависимости имеют одинаковый характер, максимальная абсолютная погрешность вычислений составляет не более 4-5% [5].

Результаты исследований позволяют решать ряд проблем, возникающих в процессе проектирования и работы энергоустановок.

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.