УДК 621.745.01:681.3.06

Ж.К.Матисаков - ст.преп.ОшТУ
Zh.K.Matisakov – senior teacher OshTU

РАСЧЕТ УГЛОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КОНДЕНСИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Разработан специальный алгоритм расчета угловых коэффициентов методом Монте–Карло между прямоугольной и цилиндрической поверхностями расположенными в параллельных плоскостях.

Ключевые слова: излучения, метод Монте-Карло, цилиндр, коэффициент, координат.

CALCULATION OF THE ANGULAR COEFFICIENTS OF RADIATION DURING THERMAL PROCESSING OF CONDENSED MATERIALS

A special algorithm is developed for calculating angular coefficients by the Monte Carlo method between rectangular and cylindrical surfaces located in parallel planes.

Key words: radiation, Monte Carlo method, cylinder, coefficient, coordinates.

Угловые коэффициенты излучения φ_{ki}, для простых геометрических систем состоящих из параллельно расположенных прямоугольных плоскостей, неограниченно длинных круглых двух цилиндров или двух концентрических сфер проблем не возникает, так как все угловые коэффициенты в этом случае могут быть рассчитаны по формулам поточной алгебры [1,2].

Для в более сложных случаях необходимо использовать другие методы, среди которых наибольшее распространение получили метод Монте–Карло (метод статистических испытаний)[3]. Для расчета угловых коэффициентов методом статистических испытаний, рассмотрим геометрическую систему, образованную прямоугольной поверхностью с размерами A x B и цилиндрической поверхностью d x l, ось которой параллельна прямоугольной поверхности (рис 1).

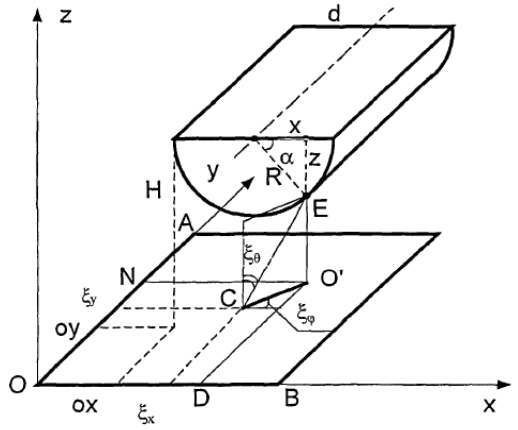

Рис 1. К расчету среднего углового коэффициента излучения методом Монте - Карло между прямоугольной и цилиндрической поверхностями расположенными в параллельных плоскостях

Начало координат расположим в левой передней вершине прямоугольника. Цилиндрическая поверхность находится на расстояние Ох, Оу, Н от начала координат (рис 1).

Рассмотрим случайный луч, исходящий из некоторой точки С прямоугольной поверхности и пересекающий цилиндрическую поверхность в точке Е.

Обозначим через ξ_x и ξ_y - случайные координаты точки С, ξ_θ и ξ_φ — случайные значения углов, определяющих направление луча в пространстве.

Координата излучающей точки ξ_x равномерно распределена на отрезке [О, В], поэтому её функция распределения $F(x) \equiv P\{\xi_x < x\} = x / B$ и разыгрывание её значения производится по формуле:

$$\xi_x / B = r_x \text{ или } \xi_x = Br_x, \qquad (1)$$

Аналогичные рассуждения выполняются для координаты ξ_y, равномерно распределенной на отрезке [О, А], и разыгрывание её значения выполняется по формуле:

$$\xi_y / A = r_y \text{ или } \xi_y = Ar_y. \qquad (2)$$

В формулах (1), (2): r_x, r_y - случайные числа равномерно распределенные в интервале [0,1].

Азимутальный угол φ лежит в интервале [0,2π] и функция распределения случайного угла φ имеет вид [2]:

$$F(\varphi) = \frac{1}{\pi}\int_0^{\varphi} d\varphi \int_0^{\pi/2} \cos\theta \sin\theta d\theta = \frac{\varphi}{2\pi}.$$

Разыгрывание значения азимутального угла выполняется по формулам:

$$\xi_\varphi / 2\pi = r_\varphi \text{ или } \xi_\varphi = 2\pi r_\varphi. \qquad (3)$$

Функция распределения случайного угла θ:

$$F(\theta) = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\theta} \cos\theta \sin\theta d\theta = \sin^2\theta,$$

откуда

$$\sin^2 \xi_\theta = r_\theta \text{ или } \xi_\theta = \arcsin\sqrt{r_\theta}. \qquad (4)$$

В формулах (3), (4): r_φ, r_θ - случайные числа, равномерно распределенные в интервале [0,1].

Координата z случайного луча, равномерно распределенная на отрезке [0, R], разыгрывается по формуле:

$$\xi_z = Rr_z, \qquad (5)$$

где R - радиус цилиндра, r_z - случайная величина, равномерно распределенная в интервале [0,1].

Таким образом, для каждого испытания необходимо найти значение пяти независимых случайных величин, равномерно распределенных в интервале [0,1]: r_x, r_y, r_z, r_φ и r_θ позволяющие определить конкретные значения $\xi_x, \xi_y, \xi_z, \xi_\varphi$ и ξ_θ по формулам (1)-(5).

Проекции луча СЕ, достигшего цилиндрической поверхности на оси координат

1) ось Oz

$$O^{/}E = H - \xi_z, \qquad (6)$$

2) ось Ох

$$OD = O^{/}Etg\,\xi_\theta \cos\xi_\varphi + \xi_x, \qquad (7)$$

3) ось Оу

$$ON = O^{/} Etg\xi_{\theta} \sin\xi_{\varphi} + \xi_{y}, \qquad (8)$$

Условие попадания луча на цилиндрическую поверхность:

$$d2 \le OD \le d1 \text{ и } oy \le ON \le (oy+1), \qquad (9)$$

где

$$d1 = ox + R + abs(x),\ d2 = ox + R - abs(x),\ x = R\cos\alpha,\ \alpha = \arcsin(z/R) = \arcsin(\xi_z / R).$$

Для нахождения приближенного значения φ_{12} проведем серию из N независимых испытаний, в каждом из которых найдем направление случайного луча и определим попадает ли этот луч на цилиндрическую поверхность. Подсчитываем число лучей попавших на цилиндрическую поверхность M и определяем значение среднего углового коэффициента по формуле:

$$\varphi_{12} \approx M / N. \qquad (10)$$

Алгоритм расчета угловых коэффициентов излучения реализован в виде программы, составленной на языке программирования Delphi 7. Для выбора случайных величин использована функция RANDOM(X). После расчета угловых коэффициентов излучения по известным формулам и по методу Монте - Карло, их значения уточняются по свойствам взаимности и замкнутости. Угловые коэффициенты излучения для системы (рис. 2) в зависимости от диаметра нагреваемых валов представлены на рис. 3. Обозначения поверхностных зон соответствуют обозначениям на рис. 2.

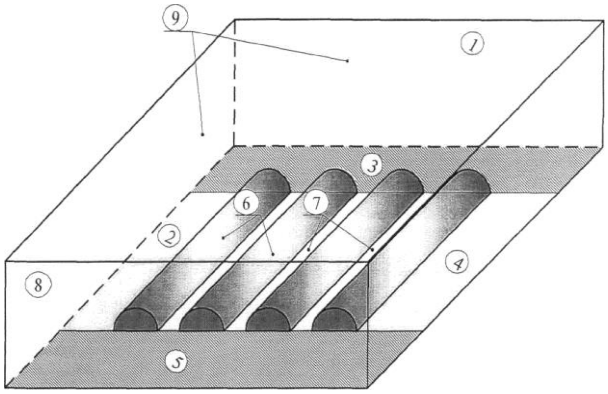

Рис. 2. Схема расчетной системы с указанием поверхностных зон

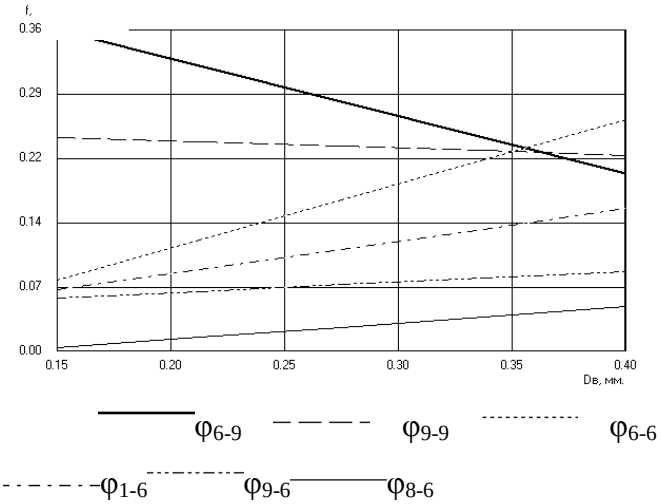

Рис. 3. Зависимость угловых коэффициентов излучения для расчетной системы от диаметра нагреваемых конденсированных материалов

Как видно, из рис. 3. угловые коэффициенты излучения для стен в пространстве над заготовками и верхних половин цилиндрических поверхностей материалов с увеличением диаметра нагреваемых конденсированных материалов уменьшаются, а для остальных расчетных зон угловые коэффициенты излучения увеличиваются.

Таким образом, программа позволяет рассчитывать угловые коэффициенты излучения для любых размеров нагреваемых устройств и конденсированных материалов.

Литература:

1. Блох А.Г. Основы теплообмена излучением.- Л.: Госэнергоиздат, 1962. -296 с.
2. Невский А.С. Лучистый теплообмен в печах и топках. — М.: Металлургия, 1971. -440 с.
3. Элементы теории систем и численные методы моделирования процессов тепломассопереноса: Учебник для вузов. / В. С. Швыдкий, Н.А. Спирин, М.Г. Ладыгичев, Ю.Г. и др. - М.: Интермет Инжиниринг, 1999. -520 с.