

## Л и т е р а т у р а

1. Временные методические указания по наладке автоматических регуляторов на тепловых электрических станциях. - М. : ОРГРЭС, 1976, с. 109. 2. Стефани Е.П. Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. - М.: Энергия, 1972. 3. Ротач В.Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. - М.: Госэнергоиздат, 1960. 4. Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т. Определение оптимальных настроек регуляторов теплоэнергетических объектов при отработке задающего воздействия. - Изв. вузов СССР. Сер. Энергетика, 1980, № 4, с. 119 - 124.

УДК 628.78.014.5

Л.Н.Смурага, А.И. Козлов

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ В ПЕЧИ В СЛУЧАЕ ВІ САДКИ СТРЕМИТСЯ К НУЛЮ

Для оценки теплообмена в печах необходимо знать величину коэффициента теплоотдачи. В настоящее время известен ряд методик по определению  $\alpha$ , однако в одних случаях требуется знание теплофизических величин садок, в других - тепловых потоков.

Данная методика основана на косвенном получении значения  $\alpha$  с использованием теории регулярного режима.

На рис. 1 изображена схема печи с садкой, представляющая собой насыпной слой из чугунных отливок.

В случае охлаждения садки вместе с печью, когда критерий Био мал ( $Bi \rightarrow 0$ ), распределение температур внутри тела принимает равномерный характер и описывается простой экспонентой [1]. Отсюда легко определяется коэффициент теплопередачи системы "садка-окружающая среда"  $K$ , численное значение которого от температуры для конкретного случая приводится на рис. 2.

Для определения коэффициента теплоотдачи в печи записывают систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= \alpha (t_c - t_{\Pi}) F_c; \\ Q_2 &= \frac{\lambda}{\delta} (t_{\Pi} - t_{н.с}) \sqrt{F_1 F_2}; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} Q_2 &= \alpha_o (t_{н.с} - t_o) F_2; \\ Q_2 &= K (t_c - t_o) F_2, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\alpha$  – условный коэффициент теплоотдачи печи от садки к внутренней поверхности футеровки, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $\alpha_o$  – коэффициент теплоотдачи с поверхности ограждения печи в окружающую среду, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $K$  – коэффициент теплопередачи системы "садка – окружающая среда", Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $\lambda$  – приведенный коэффициент теплопроводности ограждения печи, Вт/(м·°C);  $t_c$  – температура садки, °C;  $t_{п}$  – температура внутренней поверхности печи, °C;  $t_{н.с}$  – температура наружной поверхности печи, °C;  $t_o$  – температура окружающей среды, °C;  $F_c$  – поверхность садки, м<sup>2</sup>;  $F_1$  – внутренняя поверхность печи, м<sup>2</sup>;  $F_2$  – наружная поверхность ограждения печи, м<sup>2</sup>;  $\delta$  – приведенная толщина ограждения печи, м.

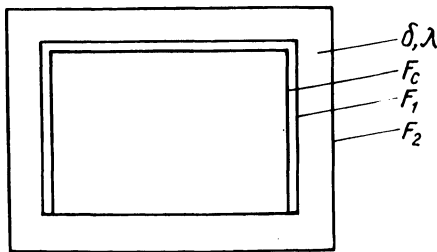


Рис. 1. Схема печи с расположенной садкой.

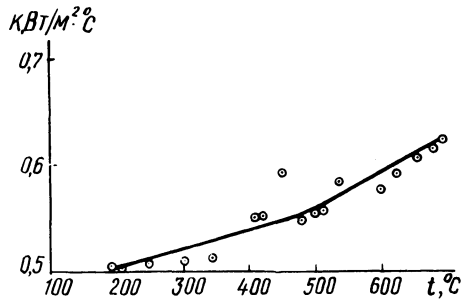


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплопередачи системы "садка – окружающая среда" от температуры садки.

Из (1) легко получить

$$\left. \begin{aligned} t_c - t_{п} &= \frac{Q_1}{\alpha F_c} ; \\ t_{п} - t_{н.с} &= \frac{\delta}{\lambda} \frac{Q_2}{\sqrt{F_1 F_2}} ; \\ t_{н.с} - t_o &= \frac{Q_2}{\alpha_o F_2} ; \\ t_c - t_o &= \frac{Q_2}{K F_2} . \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Систему (2) выражают тождеством

$$\frac{Q_2}{KF_2} = Q_1 \left( \frac{1}{\alpha F_c} + \frac{Q_2}{Q_1} \frac{\delta}{\lambda \sqrt{F_1 F_2}} + \frac{Q_2}{Q_1} \frac{1}{\alpha_0 F_2} \right). \quad (3)$$

Дальнейшее преобразование приводит (3) к следующему виду:

$$\alpha = \frac{\frac{F_2}{F_c}}{\frac{1}{K} - \frac{\delta}{\lambda \sqrt{\frac{F_1}{F_2}}} - \frac{1}{\alpha_0}} \cdot \frac{Q_2}{Q_1}, \quad (4)$$

где  $Q_2, Q_1$  - соответственно тепло, отдаваемое системой и садкой, Вт/ч.

Иначе

$$Q_2 = G_c c_c \Delta t_c + G_{огр} c_{огр} \Delta t_{огр};$$

$$Q_1 = G_c c_c \Delta t_c,$$

где  $G_c, G_{огр}$  - соответственно веса ограждения и садки, кг;  $c_c, c_{огр}$  - соответственно теплоемкости ограждения и садки, кДж/(кг·°C);  $\Delta t_{огр}, \Delta t_c$  - разности температур соответственно ограждения и садки, °C.

Исследование охлаждения системы проводилось на модели печи для отжига ковкого чугуна, футеровка которой выполнена из волокнистых огнеупорных материалов. Размеры садки: длина 1240 мм, ширина 420 мм, высота 250 мм. Размеры ограждения печи: длина 1500 мм, ширина 660 мм, высота 800 мм. Вес садки 251,89 кг, вес ограждения 778,34 кг. Средняя теплоемкость садки за период охлаждения 0,6004, а ограждения - 0,712 кДж/(кг·°C).

В конкретном примере из опыта следует, что  $Q_2/Q_1 = 2,87$ .

Для рассматриваемого случая внутренняя поверхность печи равна

$$F_1 = (1,35 + 0,51) \cdot 2 \cdot 0,44 + 0,51 \cdot 1,35 \cdot 2 = 3,01 \text{ м}^2, \text{ а}$$

$$F_2 = 5,44 \text{ м}^2 \text{ и } F_c = 1,87 \text{ м}^2. \text{ Тогда } F_2/F_c = 2,91 \text{ и } \sqrt{F_1}/\sqrt{F_2} = 0,745.$$

Приведенная толщина ограждения печи  $\delta = 0,194$  м, а коэффициент теплопроводности ограждения  $\lambda = 0,18$  Вт/(м·°C). Коэффициент теплоотдачи в окружающую среду  $\alpha_0 = 11$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C) [2].

Уравнение (4) упрощается, если подставить соответствующие известные величины

$$\alpha = \frac{8,352}{\frac{1}{K} - 1,540} \quad (5)$$

Решение уравнения (5) для конкретной температуры и коэффициента теплопередачи в конечном варианте представлено на рис. 3 зависимостью  $\alpha = f(t)$ .

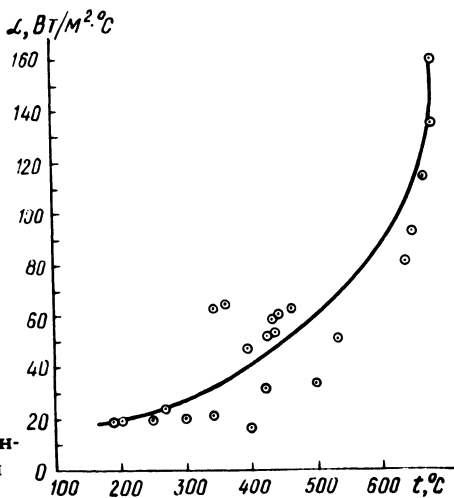


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплоотдачи печи от температуры садки.

Таким образом, использование теории регулярного режима позволяет создать методику по определению коэффициента теплоотдачи в печи.

#### Л и т е р а т у р а

1. Лыков А.Б. Тепломассообмен: Справочник. - М.: Энергия, 1971. - 560 с.
2. Электротермическое оборудование: Справочник / Под общ. ред. А.П.Альтгаузена. - М.: Энергия, 1967. - 448 с.