

## Розрахунок теплообміну в печі

Дано:

Продуктивність печі, т/ч –	$P := 57 \frac{\text{т}}{\text{ч}}$
Матеріал заготівки – сталь 35	
Розміри заготівки, м –	$d_3 := 110 \text{ мм} \quad L_3 := 2.4 \text{ м}$
Початкова температура, $^{\circ}\text{C}$ –	$t_{\text{МН}} := 20$
Кінцева температура, $^{\circ}\text{C}$ –	$t_{\text{МК}} := 1210$
Перепад температури по січенню заготовки в кінці нагрівання, $^{\circ}\text{C}$ –	$\Delta t_{\text{К}} := 20$
Температура диму уходить, $^{\circ}\text{C}$ –	$t_{\text{д.ух.}} := 920$
Паливо – природний газ заданого складу	
Коефіцієнт рас ходу повітря –	$n := 1.03$
Температура підігрівання повітря, $^{\circ}\text{C}$ –	$t_{\text{Н}} := 280$

1. Визначення приведенного коефіцієнта випромінювання при нагріванні металу в кільці вії печі

1.1 Визначаємо поверхню склепіння і поду в печі:

$$F_{\text{скл}} = F_{\text{л}} = \pi \cdot D_{\text{ср}} \cdot B$$

$D_{\text{ср}}$  – середній діаметр печі

$B$  – ширина печі ( $L_3 < 2\text{м}$ , тому  $B = 2 L_3 + 0,6$ )

$$B = L_3 + 0.4$$

$$B = 2.8 \text{ м}$$

1.1 Визначаємо бокову поверхню кладки по зовнішньому діаметру кільця, де  $h$  – висота робочого простору печі.

$$h = 1.5 \text{ м}$$

$$F_{\text{Н}} = F_{\text{л}}$$

$$D_{\text{ср}} := 1$$

$$F_H = \pi \cdot (D_{\text{ср}} + B) \cdot h$$

1.3 Визначаємо бокову поверхню кладки по внутрішньому діаметру кільця,

$$F_{\text{вн}} = \pi \cdot (D_{\text{ср}} - B) \cdot h$$

1.4 Визначаємо повну поверхню кладки

$$F_{\text{кл}} = F_{\text{скл}} + F_H + F_{\text{вн}} = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{ср}} + \pi \cdot (D_{\text{ср}} + B) \cdot h + \pi \cdot (D_{\text{ср}} - B) \cdot h$$

$$F_{\text{кл}} := 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{ср}} \cdot (B + h)$$

1.5 Визначаємо поверхню металу в печі, де  $md$  – відстань між осями заготовок ( $m$  – число діаметрів;  $n_p$  – число рядів).

Приймаємо:  $m := 2$      $n_p := 1$

$$F_M = \frac{\pi \cdot D_{\text{ср}}}{m \cdot d} \cdot \pi d L \cdot n = \frac{\pi \cdot 2 \cdot D_{\text{ср}} \cdot L \cdot n}{m} \quad F_M := 1$$

1.6 Визначаємо кутовий коефіцієнт ( $m=2$ ;  $n_p=1$  – якщо один ряд заготовок;  $n_p=2$  – якщо два ряди заготовок)

$$L := \frac{m \cdot B}{2.4 \cdot n_p} \quad \frac{h}{B} = 0.54 \quad \phi_{\text{мм}} = \frac{F_M}{F_M + F_{\text{кл}}}$$

$$\phi_{\text{мм}} := \frac{1}{1 + 0.637 \cdot L \cdot \left(1 + \frac{h}{B}\right)}$$

$$\phi_{\text{мм}} = \frac{1}{1 + 0.637 \cdot 2.333 \cdot (1 + 0.44)} \quad \phi_{\text{мм}} = 0.305$$

1.7 Визначаємо приведений коефіцієнт випромінювання, віднесений до температури печі, де  $E_m$  – міра чорноти металу

Приймаємо:  $E_m := 0.8$

$$C_{\text{печі}} := \frac{5.76 \cdot E_m}{E_m + 0.637 \cdot L \cdot \left(1 + \frac{h}{B}\right)}$$

$$C_{\text{печі}} = \frac{5.76 \cdot 0.8}{E_m + 0.637 \cdot 2.333 \cdot (1 + 0.44)} \quad C_{\text{печі}} = 3.412 \text{ (Вт/м}^2 \text{ К}^4)$$

1.8 Визначаємо температуру димових газів в том. зоні:

$$t_{\text{tm}} := t_{\text{МК}} + 50$$

$$t_{\text{tm}} = 1210 + 50 \quad t_{\text{tm}} = 1260$$

1.9 Приймаємо температуру газів в зварювальній зоні:

$$t_{\text{Г.зв.ср.}} := 1550$$

1.10 Визначаємо середню температуру газів в методичній зоні

$$t_{\text{Г.м.ср.}} := \frac{t_{\text{д.ух.}} + t_{\text{Г.зв.ср.}}}{2} \quad t_{\text{Г.м.ср.}} = \frac{920 + 1550}{2} \quad t_{\text{Г.м.ср.}} = 1235$$

1.11 Визначаємо величину газового об'єму в печі :

$$V_{\text{Г}} = h \cdot F_{\text{П}} = h \cdot \pi \cdot D_{\text{ср}} \cdot B = 2.8 \cdot \pi \cdot D_{\text{ср}} \cdot 3.4$$

$$V_{\text{Г}} := 4.2 \cdot \pi \cdot D_{\text{ср}} \quad (\text{м}^3)$$

1.12 Визначаємо пов. мет. в печі:

$$F_{\text{заг}} = N_{\text{заг}} \cdot F_{\text{заз}} = \frac{\pi D_{\text{ср}}}{md} = \frac{\pi D_{\text{ср}}}{2d} \cdot \pi \cdot d \cdot 2.4$$

$$F_{\text{заг}} := 1.2 \cdot \pi^2 \cdot D_{\text{ср}} \quad (\text{м}^2)$$

1.13 Сумарна поверхня, що обмежує газовий об'єм :

$$F_{\Sigma} = F_{\text{кз}} \cdot F_{\Sigma \text{заг}} = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{ср}} \cdot (h + B) + 1.5 \cdot \pi^2 \cdot D_{\text{ср}}$$

$$F_{\Sigma} = \pi \cdot D_{\text{ср}} \cdot [2 \cdot (h + B) + 1.5 \cdot \pi] = \pi \cdot D_{\text{ср}} \cdot [2 \cdot (1.5 + 2.8) + 1.5 \cdot 3.14]$$

$$F_{\Sigma} := 13.31 \cdot \pi \cdot D_{\text{ср}} \quad (\text{м}^2)$$

1.14 Визначаємо ефективну довжину променя для кожної зони:

$$S_{\text{еф}} := 3.6 \cdot \frac{V_r}{F_{\Sigma}} \quad S_{\text{еф}} := 3.6 \cdot \frac{4.2 \cdot \pi \cdot D_{\text{ср}}}{13.31 \cdot \pi \cdot D_{\text{ср}}} \quad S_{\text{еф}} = 1.136 \quad \text{м}$$

1.15 Визначаємо добутки парціальних тисків газів на ефективну довжину проміня:

$$\text{CO}_2 := 9.045 \quad \text{PCO}_2 := 98.1 \cdot \frac{\text{CO}_2}{100} \quad \text{H}_2\text{O} := 17.48$$

$$98.1 \cdot \frac{\text{CO}_2}{100} \cdot S_{\text{еф}} = 10.08 \quad (\text{кПа})$$

$$97.1 \cdot \frac{\text{H}_2\text{O}}{100} \cdot S_{\text{еф}} = 19.281 \quad (\text{кПа})$$

1.15 Визначаємо міри чорноти газів в зонах

а) методична зона

$$E_{\text{CO}_2} := 0.09 \quad E_{\text{H}_2\text{O}} := 0.14 \quad \beta := 1.08$$

$$E_{\Gamma.\text{м}} := E_{\text{CO}_2} + \beta \cdot E_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$E_{\Gamma.\text{м}} = 0.09 + 1.08 \cdot 0.14$$

$$E_{\Gamma.\text{м}} = 0.241$$

б) зварювальна зона

$$t_{\text{г.зв.ср.}} := 1550 \text{ C}$$

$$E_{\text{CO}_2} := 0.078 \quad E_{\text{H}_2\text{O}} := 0.1 \quad \beta := 1.08$$

$$E_{\Gamma.\text{з}} := E_{\text{CO}_2} + \beta \cdot E_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$E_{\Gamma.\text{з}} = 0.078 + 1.08 \cdot 0.1$$

$$E_{\Gamma.\text{з}} = 0.186$$

в) томільна зона

$$t_{\Gamma.\text{т.ср.}} := t_{\text{тм}} \quad t_{\text{тм}} = 1260 \text{ C}$$

$$E_{\text{CO}_2} := 0.092 \quad E_{\text{H}_2\text{O}} := 0.12 \quad \beta := 1.08$$

$$E_{\Gamma.\text{т}} := E_{\text{CO}_2} + \beta \cdot E_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$E_{\Gamma.\text{т}} = 0.092 + 1.08 \cdot 0.12$$

$$E_{\Gamma.\text{т}} = 0.222$$

1.16 Визначаємо приведені коефіцієнти випромінювання газів в зонах

а) методична зона  $E_M := 0.8$

$$C_{\Gamma.M} := \frac{5.76 \cdot E_M \cdot E_{\Gamma.M}}{E_{\Gamma.M} + \frac{1}{1 + 0.637 \cdot L \cdot \left(1 + \frac{h}{B}\right)} \cdot E_M \cdot (1 - E_{\Gamma.M})}$$

$$C_{\Gamma.M} = \frac{5.76 \cdot 0.8 \cdot 0.241}{0.241 + \frac{1}{1 + 0.637 \cdot 2.333 \cdot (1 + 0.441)} \cdot 0.8 \cdot (1 - 0.241)}$$

$$C_{\Gamma.M} = 2.608 \quad (\text{Вт/м}^2 \text{К}^4)$$

б) зварювальна зона

$$C_{\Gamma.ЗВ} := \frac{5.76 \cdot E_M \cdot E_{\Gamma.ЗВ}}{E_{\Gamma.ЗВ} + \frac{1}{1 + 0.637 \cdot L \cdot (1 + h)} \cdot E_M \cdot (1 - E_{\Gamma.ЗВ})}$$

$$C_{\Gamma.ЗВ} = \frac{5.76 \cdot 0.8 \cdot 0.186}{0.186 + \frac{1}{1 + 0.637 \cdot 2.333 \cdot (1 + 0.441)} \cdot 0.8 \cdot (1 - 0.186)}$$

$$C_{\Gamma.ЗВ} = 2.645 \quad (\text{Вт/м}^2 \text{К}^4)$$

в) томільна зона

$$C_{\Gamma.Т} := \frac{5.76 \cdot E_M \cdot E_{\Gamma.Т}}{E_{\Gamma.Т} + \frac{1}{1 + 0.637 \cdot L \cdot (1 + h)} \cdot E_M \cdot (1 - E_{\Gamma.Т})}$$

$$C_{\Gamma.Т} = \frac{5.76 \cdot 0.8 \cdot 0.222}{0.222 + \frac{1}{1 + 0.637 \cdot 2.333 \cdot (1 + 0.441)} \cdot 0.8 \cdot (1 - 0.222)}$$

$$C_{\Gamma.Т} = 2.9 \quad (\text{Вт/м}^2 \text{К}^4)$$

г) середнє значення

$$C_{\Gamma} := \frac{1}{3} \cdot (C_{\Gamma.M} + C_{\Gamma.ЗВ} + C_{\Gamma.Т})$$

$$C_{\Gamma} := \frac{1}{3} \cdot (2.608 + 2.645 + 2.9) \quad C_{\Gamma} = 2.72 \quad (\text{Вт/м}^2 \text{К}^4)$$