

2.6 Розрахунки теплового балансу кільцевої печі і визначення розходу палива

1. Визначаємо середній діаметр печі:

$$D_{\text{сер}} := \frac{L_{\text{сер}}}{\pi}$$

$$D_{\text{сер}} = \frac{28.64}{3.14} \qquad D_{\text{сер}} = 9.116 \text{ (м)}$$

2 Визначаємо зовнішній діаметр печі:

$$D_{\text{н}} := D_{\text{сер}} + B$$

$$D_{\text{н}} = 9.116 + 3.4 \qquad D_{\text{н}} = 11.916 \text{ (м)}$$

3. Визначаємо внутрішній діаметр печі:

$$D_{\text{в}} := D_{\text{сер}} - B$$

$$D_{\text{в}} := 11.916 - 3.4 \qquad D_{\text{в}} := 8.516 \text{ (м)}$$

4. Визначаємо довжину методичної зони:

$$L_{\text{мет}} := (L_{\text{сер}} - 4) \cdot \left(\frac{\tau_{\text{м}}}{\tau_3} \right)$$

$$L_{\text{мет}} := (28.64 - 4) \cdot \left(\frac{994.9}{1831.3} \right) \qquad L_{\text{мет}} = 13.386 \text{ (м)}$$

5. Визначаємо довжину зварювальної зони:

$$L_{\text{зв}} := (L_{\text{сер}} - 4) \cdot \left(\frac{\tau_{\text{зв}}}{\tau_3} \right)$$

$$L_{\text{зв}} := (28.64 - 4) \cdot \left(\frac{419.79}{1831.3} \right) \qquad L_{\text{зв}} = 5.648 \text{ (м)}$$

6. Приймаємо довжину томильної зони:

$L_T=7$ м; розміри вікон, пасаду і видачі 1500 x 1500 мм; кладка печі стіни зони – шамот 350мм; ізоляція – 120 мм; склепіння зварювальної зони – динас 300мм; склепіння методичної і томильної зони – шамот 300мм; ізоляція – 150 мм.

7. Визначаємо температуру внутрішньої поверхні кладки:

Відносна температура, де

$$\phi_{KM} := \frac{F_M}{F_{T.T} + F_M} \quad \text{- кутовий коефіцієнт кладки на металі}$$

$$\phi_{KL} = \frac{\epsilon_{\Gamma}}{\epsilon_{\Gamma} + \phi_{KM} \cdot \epsilon_M \cdot (1 - \epsilon_{\Gamma})} = \frac{\theta_{KL}^4 - \theta_M^4}{1 - \theta_M^4}$$

а) томильна зона .

$$\theta_{KL} = \frac{T_{KL}}{T_{\Gamma}} \quad \text{- відносна температура кладки}$$

T_{KL} - середня температура поверхні металу в зоні

$$t_{cp.T.n} := \frac{t_{пмн} + t_{МК}}{2}$$

$$t_{cp.T.n} := \frac{1193.06 + 1210}{2} \quad t_{cp.T.n} = 1201.53 \quad C$$

Середня температура газів

$$\phi_{KM} := 0.325 \quad \phi_{MM} := \phi_{KM} \quad \epsilon_{\Gamma.T} := 0.222 \quad \epsilon_M := 0.8$$

$$\phi_{KL} := \frac{\epsilon_{\Gamma.T}}{\epsilon_{\Gamma.T} + \phi_{KM} \cdot \epsilon_M \cdot (1 - \epsilon_{\Gamma.T})}$$

$$\phi_{KL} = \frac{0.222}{0.222 + 0.325 \cdot 0.8 \cdot (1 - 0.222)} \quad \phi_{KL} = 0.523$$

Відносна температура поверхні металу

$$T_M := t_{cp.T.n} + 273 \quad T_{\Gamma} := t_{\Gamma T} + 273$$

$$\theta_M := \frac{T_M}{T_{\Gamma}}$$

$$\theta_M = \frac{1201.53 + 273}{1539 + 273} \quad \theta_M = 0.814$$

Відносна температура кладки

$$\theta_{\text{КЛ}} := \sqrt[4]{\phi_{\text{КЛ}} \cdot (1 - \theta_{\text{М}}^4) + \theta_{\text{М}}^4}$$

$$\theta_{\text{КЛ}} = \sqrt[4]{0.523 \cdot [1 - (0.814)^4] + 0.814^4} \quad \theta_{\text{КЛ}} = 0.925$$

$$T_{\text{КЛТ}} := \theta_{\text{КЛ}} \cdot (t_{\text{ГТ}} + 273) \quad T_{\text{КЛТ}} = 1676.22 \quad \text{К}$$

$$t_{\text{КЛТ}} := T_{\text{КЛТ}} - 273 \quad t_{\text{КЛТ}} = 1403.22 \quad \text{С}$$

б) зварювальна зона .

Середня температура поверхні металу в зоні

$$t_{\text{ср.зв.п}} := \frac{t_{\text{пмзв}} + t_{\text{пкзв}}}{2}$$

$$t_{\text{ср.зв.п}} = \frac{1193.06 + 727.818}{2} \quad t_{\text{ср.зв.п}} = 960.44 \quad \text{С}$$

Середня температура газів

$$\phi_{\text{КМ}} := 0.325 \quad \phi_{\text{ММ}} := \phi_{\text{КМ}} \quad \epsilon_{\text{Г.зв}} := 0.186 \quad \epsilon_{\text{М}} := 0.8$$

$$\phi_{\text{КЛ}} := \frac{\epsilon_{\text{Г.зв}}}{\epsilon_{\text{Г.зв}} + \phi_{\text{КМ}} \cdot \epsilon_{\text{М}} \cdot (1 - \epsilon_{\text{Г.зв}})}$$

$$\phi_{\text{КЛ}} = \frac{0.186}{0.186 + 0.325 \cdot 0.8 \cdot (1 - 0.186)} \quad \phi_{\text{КЛ}} = 0.468$$

Відносна температура поверхні металу

$$T_{\text{М}} := t_{\text{ср.зв.п}} + 273 \quad T_{\text{Г}} := t_{\text{Г.зв.ср.}} + 273$$

$$\theta_{\text{М}} := \frac{T_{\text{М}}}{T_{\text{Г}}}$$

$$\theta_{\text{М}} = \frac{960.439 + 273}{1550 + 273} \quad \theta_{\text{М}} = 0.677$$

Відносна температура кладки

$$\theta_{\text{КЛ}} := \sqrt[4]{\phi_{\text{КЛ}} \cdot (1 - \theta_{\text{М}}^4) + \theta_{\text{М}}^4}$$

$$\theta_{\text{кл}} = \sqrt[4]{0.468 \cdot (1 - 0.677^4) + 0.677^4} \quad \theta_{\text{кл}} = 0.872$$

$$T_{\text{кл.зв}} := \theta_{\text{кл}} \cdot (t_{\text{г.зв.ср.}} + 273) \quad T_{\text{кл.зв}} = 1590.4 \text{ K}$$

$$t_{\text{кл.зв}} := T_{\text{кл.зв}} - 273 \quad t_{\text{кл.зв}} = 1317.42 \text{ C}$$

в) методична зона .

Середня температура поверхні металу в зоні

$$t_{\text{ср.м.п}} := \frac{t_{\text{мн}} + t_{\text{пмк}}}{2}$$

$$t_{\text{ср.м.п}} := \frac{20 + 727.818}{2} \quad t_{\text{ср.м.п}} = 373.909 \text{ C}$$

Середня температура газів

$$t_{\text{г.м.ср.}} := \frac{t_{\text{д.ух.}} + t_{\text{г.зв.ср.}}}{2}$$

$$t_{\text{г.м.ср.}} := \frac{920 + 1550}{2} \quad t_{\text{г.м.ср.}} = 1235 \text{ C}$$

$$\phi_{\text{км}} := 0.325 \quad \phi_{\text{мм}} := \phi_{\text{км}} \quad \epsilon_{\text{г.зв}} := 0.241 \quad \epsilon_{\text{м}} := 0.8$$

$$\phi_{\text{кл}} := \frac{\epsilon_{\text{г.зв}}}{\epsilon_{\text{г.зв}} + \phi_{\text{км}} \cdot \epsilon_{\text{м}} \cdot (1 - \epsilon_{\text{г.зв}})}$$

$$\phi_{\text{кл}} = \frac{0.241}{0.241 + 0.325 \cdot 0.8 \cdot (1 - 0.241)} \quad \phi_{\text{кл}} = 0.55$$

Відносна температура поверхні металу

$$T_{\text{м}} := t_{\text{ср.м.п}} + 273 \quad T_{\text{г}} := t_{\text{г.м.ср.}} + 273$$

$$\theta_{\text{м}} := \frac{T_{\text{м}}}{T_{\text{г}}}$$

$$\theta_{\text{м}} = \frac{373.909 + 273}{1235 + 273} \quad \theta_{\text{м}} = 0.429$$

Відносна температура кладки

$$\theta_{\text{кл}} := \sqrt[4]{\phi_{\text{кл}} \cdot (1 - \theta_{\text{м}}^4) + \theta_{\text{м}}^4}$$

$$\theta_{\text{кл}} = \sqrt[4]{0.55 \cdot (1 - 0.429^4) + 0.429^4} \quad \theta_{\text{кл}} = 0.867$$

$$T_{\text{клм}} := \theta_{\text{кл}} \cdot (t_{\text{г.м.ср.}} + 273) \quad T_{\text{клм}} = 1307.44 \text{ K}$$

$$t_{\text{клм}} := T_{\text{клм}} - 273 \quad t_{\text{клм}} = 1034.44 \text{ C}$$

8. Визначаємо теплові витрати через кладку в зонах:

Томильна зона

а) Втрати через склепіння:

$$F_{\text{кл}} := B \cdot L_{\text{м}}$$

$$F_{\text{кл}} := 2.8 \cdot 7 \quad F_{\text{кл}} = 19.6 \text{ (м}^2\text{)}$$

$$t_{\text{кл1}} := \frac{t_{\text{вн}} + t_{\text{клт}}}{2}$$

$$t_{\text{кл1}} = \frac{20 + 1403.22}{2} \quad t_{\text{кл1}} = 711.61 \text{ C}$$

$$t_{\text{ш}} := \frac{t_{\text{клт}} + t_{\text{кл1}}}{2}$$

$$t_{\text{ш}} = \frac{1403.22 + 711.61}{2} \quad t_{\text{ш}} = 1057.42 \text{ C}$$

$$t_{\text{із}} := \frac{t_{\text{вн}} + t_{\text{кл1}}}{2}$$

$$t_{\text{із}} = \frac{20 + 711.61}{2} \quad t_{\text{із}} = 365.81 \text{ C}$$

Коефіцієнт теплопровідності шамоту і ізоляції:

$$\lambda_{\text{ш}} := 0.6 + 0.00055 \cdot t_{\text{ш}}$$

$$\lambda_{\text{ш}} = 0.6 + 0.00055 \cdot 1057.42 \quad \lambda_{\text{ш}} = 1.182 \text{ [Вт/м K]}$$

$$\lambda_{i3} := 0.2 + 0.0002 \cdot t_{i3}$$

$$\lambda_{i3} = 0.2 + 0.0002 \cdot 365.81 \quad \lambda_{i3} = 0.273 \quad (\text{Вт/м К})$$

$$\alpha := 18.6 \quad (\text{Вт/м}^2 \text{ К}) \quad S_{\text{III}} := 0.3 \quad S_{i3} := 0.15$$

$$Q_{\text{Т.скл}} := \frac{t_{\text{клт}} - t_{\text{вн}}}{\frac{S_{\text{III}}}{\lambda_{\text{III}}} + \frac{S_{i3}}{\lambda_{i3}} + \frac{1}{\alpha}} \cdot F_{\text{кл}}$$

$$Q_{\text{Т.скл}} = \frac{1403.22 - 20}{\frac{0.3}{1.183} + \frac{0.15}{0.273} + \frac{1}{18.6}} \cdot 23.8 \quad Q_{\text{Т.скл}} = 31642.75 \quad (\text{Вт})$$

Перевіряємо вірність прийнятих температур шарів:

$$t_{\text{III1}} := t_{\text{клт}} - \frac{Q_{\text{Т.скл}}}{F_{\text{кл}}} \cdot \left(\frac{S_{\text{III}}}{2 \cdot \lambda_{\text{III}}} \right)$$

$$t_{\text{III1}} = 1403.22 - \frac{31642.75}{19.6} \cdot \left(\frac{0.3}{2 \cdot 1.182} \right)$$

$$t_{\text{III1}} = 1198.27 \quad (\text{С})$$

$$t_{i31} := t_{\text{клт}} - \frac{Q_{\text{Т.скл}}}{F_{\text{кл}}} \cdot \left(\frac{S_{\text{III}}}{\lambda_{\text{III}}} + \frac{S_{i3}}{2 \cdot \lambda_{i3}} \right)$$

$$t_{i31} = 550.06$$

$$t_{i31} = 1403.22 - \frac{31642.75}{19.6} \cdot \left(\frac{0.3}{1.187} + \frac{0.15}{2 \cdot 0.273} \right)$$

Перевіряємо одержанні температури з прийнятими:

$$t_{\text{III}} = 1057.42 \quad (\text{С}) \quad t_{\text{III1}} = 1198.27 \quad (\text{С})$$

$$t_{i3} = 365.805 \quad t_{i31} = 550.059 \quad (\text{С})$$

Розходження повинні бути не більше 50⁰ С. Виконуємо повторний розрахунок.

Приймаємо:

$$t_{\text{III}} := 1209 \quad (\text{С}) \quad t_{i3} := 555 \quad (\text{С})$$

Коефіцієнт теплопровідності шарів:

$$\lambda_{\text{ш}} := 0.6 + 0.00055 \cdot t_{\text{ш}}$$

$$\lambda_{\text{ш}} = 0.6 + 0.00055 \cdot 1209$$

$$\lambda_{\text{ш}} = 1.265 \text{ (Вт/м К)}$$

$$\lambda_{\text{із}} := 0.2 + 0.0002 \cdot t_{\text{із}}$$

$$\lambda_{\text{із}} = 0.2 + 0.0002 \cdot 555$$

$$\lambda_{\text{із}} = 0.311 \text{ (Вт/м К)}$$

Втрати через склепіння, де α – коефіцієнт тепловіддачі в навколишнє середовище:

$$Q_{\text{Т.скл}} := \frac{t_{\text{клт}} - t_{\text{вн}}}{\frac{S_{\text{ш}}}{\lambda_{\text{ш}}} + \frac{S_{\text{із}}}{\lambda_{\text{із}}} + \frac{1}{\alpha}} \cdot F_{\text{кл}}$$

$$Q_{\text{Т.скл}} = \frac{1403.22 - 20}{\frac{0.3}{1.265} + \frac{0.15}{0.311} + \frac{1}{18.6}} \cdot 19.6$$

$$Q_{\text{Т.скл}} = 35061.62 \text{ (Вт)}$$

б) Витрати через стіни
Площа стін:

$$F_{\text{ст.т}} := 2 \cdot L_{\text{м}} \cdot h$$

$$F_{\text{ст.т}} = 21 \text{ м}^2$$

Приймаємо ті ж середні температури шарів

$$t_{\text{ш}} := 1209 \text{ (C)} \quad t_{\text{із}} := 555 \text{ (C)}$$

$$\lambda_{\text{ш}} = 1.265 \text{ (Вт/м К)} \quad \lambda_{\text{із}} = 0.311 \text{ (Вт/м К)}$$

$$Q_{\text{Т.скт}} := \frac{1403.22 - 20}{\frac{0.35}{1.265} + \frac{0.12}{0.311} + \frac{1}{18.6}} \cdot 21$$

$$Q_{\text{Т.скт}} = 40552.57 \text{ (Вт)}$$

в) Витрати через под

$$Q_{\text{Т.под}} := 0.5 \cdot Q_{\text{Т.скл}}$$

$$Q_{\text{Т.под}} = 17530.81 \text{ (Вт)}$$

г) Сумарні витрати в томильній зоні:

$$Q_{\text{Т.}\Sigma} := Q_{\text{Т.под}} + Q_{\text{Т.скт}} + Q_{\text{Т.скл}}$$

$$Q_{\text{Т.}\Sigma} = 93145.01 \text{ (Вт)}$$

Зварювальна зона:

а) Втрати через склепіння
Поверхня склепіння

$$F_{\text{скл}} := B \cdot L_{\text{зв}}$$

$$F_{\text{скл}} = 2.8 \cdot 5.648$$

$$F_{\text{скл}} = 15.815 \text{ (м}^2\text{)}$$

Визначаємо температуру стику і середню температуру:

$$t_{\text{кл}2} := \frac{t_{\text{вн}} + t_{\text{кл.зв}}}{2}$$

$$t_{\text{кл}2} = \frac{20 + 1317.42}{2}$$

$$t_{\text{кл}2} = 668.711 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{д}} := \frac{t_{\text{кл.зв}} + t_{\text{кл}2}}{2}$$

$$t_{\text{д}} = \frac{1317.42 + 668.711}{2}$$

$$t_{\text{д}} = 993.07 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{і}32} := \frac{t_{\text{кл}2} + t_{\text{вн}}}{2}$$

$$t_{\text{і}32} = \frac{668.711 + 20}{2}$$

$$t_{\text{і}32} = 344.36 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Коефіцієнт теплопровідності дінасу і ізоляції:

$$\lambda_{\text{д}} := 0.7 + 0.00065 \cdot t_{\text{д}}$$

$$\lambda_{\text{д}} = 0.7 + 0.00065 \cdot 993.07$$

$$\lambda_{\text{д}} = 1.345 \text{ (Вт/м К)}$$

$$\lambda_{\text{і}3} := 0.2 + 0.0002 \cdot t_{\text{і}32}$$

$$\lambda_{\text{і}3} = 0.2 + 0.0002 \cdot 344.36$$

$$\lambda_{\text{і}3} = 0.269 \text{ (Вт/м К)}$$

Втрати через склепіння, де α – коефіцієнт тепловіддачі в навколишнє середовище:

$$\alpha := 18.6 \quad (\text{Вт/м}^2 \text{ К}) \quad S_{\text{д}} := 0.3 \quad S_{\text{із}} := 0.15$$

$$Q_{\text{зв.скл}} := \frac{t_{\text{кл.зв}} - t_{\text{вн}}}{\frac{S_{\text{д}}}{\lambda_{\text{д}}} + \frac{S_{\text{із}}}{\lambda_{\text{із}}} + \frac{1}{\alpha}} \cdot F_{\text{скл}}$$

$$Q_{\text{зв.скл}} = \frac{1317.42 - 20}{\frac{0.3}{1.356} + \frac{0.15}{0.27} + \frac{1}{18.6}} \cdot 25.5 \quad Q_{\text{зв.скл}} = 24584.71 \quad (\text{Вт})$$

Перевіряємо вірність прийнятих температур шарів:

$$t_{\text{д1}} := t_{\text{кл.зв}} - \frac{Q_{\text{зв.скл}}}{F_{\text{скл}}} \cdot \left(\frac{S_{\text{д}}}{2 \cdot \lambda_{\text{д}}} \right)$$

$$t_{\text{д1}} = 1317.42 - \frac{24584.708}{15.815} \cdot \left(\frac{0.3}{2 \cdot 1.355} \right) \quad t_{\text{д1}} = 1144.12 \quad (\text{C})$$

$$t_{\text{із1}} := t_{\text{кл.зв}} - \frac{Q_{\text{зв.скл}}}{F_{\text{скл}}} \cdot \left(\frac{S_{\text{д}}}{\lambda_{\text{д}}} + \frac{S_{\text{із}}}{2 \cdot \lambda_{\text{із}}} \right)$$

$$t_{\text{із1}} = 1317.42 - \frac{24584.708}{15.815} \cdot \left(\frac{0.3}{1.355} + \frac{0.15}{2 \cdot 0.27} \right) \quad t_{\text{із1}} = 537.2$$

Приймаємо для другого наближення:

$$t_{\text{д1}} := 1164 \quad (\text{C}) \quad t_{\text{із1}} := 547 \quad (\text{C})$$

Коефіцієнт теплопровідності шарів:

$$\lambda_{\text{д}} := 0.7 + 0.00065 \cdot t_{\text{д1}}$$

$$\lambda_{\text{д}} = 0.7 + 0.00065 \cdot 1144$$

$$\lambda_{\text{д}} := 1.444 \quad (\text{Вт/м К})$$

$$\lambda_{\text{із}} := 0.2 + 0.0002 \cdot t_{\text{із1}}$$

$$\lambda_{\text{із}} = 0.2 + 0.0002 \cdot 547$$

$$\lambda_{\text{із}} := 0.307 \quad (\text{Вт/м К})$$

Втрати через склепіння, де α – коефіцієнт тепловіддачі в навколишнє середовище:

$$Q_{\text{зв.скл}} := \frac{t_{\text{кл.зв}} - t_{\text{вн}}}{\frac{S_{\text{д}}}{\lambda_{\text{д}}} + \frac{S_{\text{із}}}{\lambda_{\text{із}}} + \frac{1}{\alpha}} \cdot F_{\text{скл}}$$

$$Q_{\text{зв.скл}} = \frac{1317.42 - 20}{\frac{0.3}{1.444} + \frac{0.15}{0.307} + \frac{1}{18.6}} \cdot 15.815 \quad Q_{\text{зв.скл}} := 23735.21 \text{ (Вт)}$$

б) Витрати через стіни
Площа стін:

$$F_{\text{ст.зв}} := 2 \cdot L_{\text{зв}} \cdot h \quad F_{\text{ст.зв}} = 16.945 \text{ м}^2$$

Приймаємо ті ж середні температури шарів

$$t_{\text{д1}} := 1144 \text{ (C)} \quad t_{\text{із1}} := 537 \text{ (C)}$$

$$\lambda_{\text{д}} = 1.444 \text{ (Вт/м К)} \quad \lambda_{\text{із}} = 0.3 \text{ (Вт/м К)}$$

$$Q_{\text{зв.ст}} := \frac{1317.42 - 20}{\frac{0.35}{1.444} + \frac{0.12}{0.3} + \frac{1}{18.6}} \cdot 15.815 \quad Q_{\text{зв.ст}} := 45188.46 \text{ (Вт)}$$

в) Витрати через под

$$Q_{\text{зв.под}} := 0.5 \cdot Q_{\text{зв.скл}} \quad Q_{\text{зв.под}} := 13687.61 \text{ (Вт)}$$

г) Сумарні витрати в томильній зоні:

$$Q_{\text{зв.}\Sigma} := Q_{\text{зв.скл}} + Q_{\text{зв.ст}} + Q_{\text{зв.под}} \quad Q_{\text{зв.}\Sigma} := 86251.28 \text{ (Вт)}$$

Методична зона:

а) Втрати через склепіння
Поверхня склепіння

$$F_{\text{склм}} := B \cdot L_{\text{мет}}$$

$$F_{\text{склм}} = 2.8 \cdot 13.386 \quad F_{\text{склм}} = 37.482 \text{ (м}^2\text{)}$$

Визначаємо температуру стику і середню температуру:

$$t_{\text{клЗ}} := \frac{t_{\text{вн}} + t_{\text{клм}}}{2}$$

$$t_{\text{клЗ}} = \frac{20 + 1034.44}{2} \quad t_{\text{клЗ}} = 527.221 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{м}} := \frac{t_{\text{клм}} + t_{\text{клЗ}}}{2}$$

$$t_{\text{м}} = \frac{1034.44 + 527.221}{2} \quad t_{\text{м}} = 780.83 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{ізЗ}} := \frac{t_{\text{клЗ}} + t_{\text{вн}}}{2}$$

$$t_{\text{ізЗ}} = \frac{527.221 + 20}{2} \quad t_{\text{ізЗ}} = 273.61 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Коефіцієнт теплопровідності шамоту і ізоляції:

$$\lambda_{\text{дш}} := 0.6 + 0.00055 \cdot t_{\text{м}}$$

$$\lambda_{\text{дш}} = 0.6 + 0.00055 \cdot 780.83 \quad \lambda_{\text{дш}} = 1.029 \text{ (Вт/м К)}$$

$$\lambda_{\text{із}} := 0.2 + 0.0002 \cdot t_{\text{ізЗ}}$$

$$\lambda_{\text{із}} = 0.2 + 0.0002 \cdot 273.61 \quad \lambda_{\text{із}} = 0.255 \text{ (Вт/м К)}$$

Втрати через склепіння, де α – коефіцієнт тепловіддачі в навколишнє середовище:

$$\alpha := 18.6 \text{ (Вт/м}^2\text{ К)} \quad S_{\text{ш}} := 0.3 \quad S_{\text{із}} := 0.15$$

$$Q_{\text{м.скл}} := \frac{t_{\text{клм}} - t_{\text{вн}}}{\frac{S_{\text{ш}}}{\lambda_{\text{дш}}} + \frac{S_{\text{із}}}{\lambda_{\text{із}}} + \frac{1}{\alpha}} \cdot F_{\text{склм}}$$

$$Q_{\text{м.скл}} = \frac{1034.44 - 20}{\frac{0.3}{1.04} + \frac{0.15}{0.255} + \frac{1}{18.6}} \cdot 37.482 \quad Q_{\text{м.скл}} = 40707.4 \text{ (Вт)}$$

Перевіряємо вірність прийнятих температур шарів:

$$t_{\text{ш}} := t_{\text{клм}} - \frac{Q_{\text{м.скл}}}{F_{\text{склм}}} \cdot \left(\frac{S_{\text{ш}}}{2 \cdot \lambda_{\text{дш}}} \right)$$

$$t_{\text{ш}} = 1034.44 - \frac{40707.4}{37.482} \cdot \left(\frac{0.3}{2 \cdot 1.029} \right) \quad t_{\text{ш}} = 876.2 \text{ (C)}$$

$$t_{\text{із2}} := t_{\text{клм}} - \frac{Q_{\text{м.скл}}}{F_{\text{склм}}} \cdot \left(\frac{S_{\text{ш}}}{\lambda_{\text{дш}}} + \frac{S_{\text{із}}}{2 \cdot \lambda_{\text{із}}} \right)$$

$$t_{\text{із2}} = 1034.44 - \frac{40707.395}{37.482} \cdot \left(\frac{0.3}{1.029} + \frac{0.15}{2 \cdot 0.255} \right) \quad t_{\text{із2}} = 398.17 \text{ (C)}$$

. Приймаємо для другого наближення:

$$t_{\text{ш}} = 876.195 \text{ (C)} \quad t_{\text{із2}} = 398.169 \text{ (C)}$$

Коефіцієнт теплопровідності шарів:

$$\lambda_{\text{ш}} := 0.6 + 0.00055 \cdot t_{\text{ш}}$$

$$\lambda_{\text{ш}} = 0.6 + 0.00055 \cdot 876.2 \quad \lambda_{\text{ш}} = 1.082 \text{ (Вт/м K)}$$

$$\lambda_{\text{із}} := 0.2 + 0.0002 \cdot t_{\text{із2}}$$

$$\lambda_{\text{із}} = 0.2 + 0.0002 \cdot 398.17 \quad \lambda_{\text{із}} = 0.28 \text{ (Вт/м K)}$$

Втрати через склепіння, де α – коефіцієнт тепловіддачі в навколишнє середовище:

$$Q_{\text{м.скл}} := \frac{t_{\text{клм}} - t_{\text{вн}}}{\frac{S_{\text{ш}}}{\lambda_{\text{ш}}} + \frac{S_{\text{із}}}{\lambda_{\text{із}}} + \frac{1}{\alpha}} \cdot F_{\text{склм}}$$

$$Q_{\text{м.скл}} = \frac{1034.44 - 20}{\frac{0.3}{1.082} + \frac{0.15}{0.28} + \frac{1}{18.6}} \cdot 37.482 \quad Q_{\text{м.скл}} = 43832.18 \quad (\text{Вт})$$

б) Витрати через стіни
Площа стін:

$$F_{\text{ст.т}} := 2 \cdot L_{\text{мет}} \cdot h \quad F_{\text{ст.т}} = 40.1 \text{ м}^2$$

Приймаємо ті ж середні температури шарів

$$t_{\text{ш}} = 876.195 \quad (\text{C}) \quad t_{\text{із2}} = 398.169 \quad (\text{C})$$

$$\lambda_{\text{дш}} := 1.082 \quad (\text{Вт/м К}) \quad \lambda_{\text{із}} := 0.28 \quad (\text{Вт/м К})$$

$$Q_{\text{м.ст}} := \frac{1034.44 - 20}{\frac{0.35}{1.082} + \frac{0.12}{0.28} + \frac{1}{18.6}} \cdot 40.159 \quad Q_{\text{м.ст}} = 50556.46 \quad (\text{Вт})$$

в) Витрати через под

$$Q_{\text{м.под}} := 0.5 \cdot Q_{\text{м.скл}} \quad Q_{\text{м.под}} = 21916.09 \quad (\text{Вт})$$

г) Сумарні витрати в методичній зоні:

$$Q_{\text{м.}\Sigma} := Q_{\text{м.скл}} + Q_{\text{м.ст}} + Q_{\text{м.под}} \quad Q_{\text{зв.}\Sigma} = 86251.28 \quad (\text{Вт})$$

9. Загальні витрати через кладку:

$$Q_{\text{заг.}\Sigma} := Q_{\text{т.}\Sigma} + Q_{\text{зв.}\Sigma} + Q_{\text{м.}\Sigma} \quad Q_{\text{заг.}\Sigma} = 295701.01 \quad (\text{Вт})$$

10. Визначаємо витрати тепла випромінюванням:

$$F := 1.5 \cdot 1.5 \quad \phi := 0.578 \quad \psi := 0.5$$

$$Q_{\text{випр.}} = 5.76 \cdot \left(\frac{T_{\text{печі}}}{100} \right)^4 \cdot F \cdot \phi \cdot \psi$$

Де ϕ – коефіцієнт діафрагмування рівний 0,78
 Ψ – час відкриття вікон (0,5 год.)
 F – площа вікон

а) Втрати через вікно видачі

$$t_{\text{печі.т}} := 100 \cdot \sqrt[4]{\frac{q_k}{C_{\text{печі}}} + \left(\frac{t_{\text{МК}} + 273}{100}\right)^4} - 273$$

$$t_{\text{печі.т}} = 100 \cdot \sqrt[4]{\frac{19866.67}{3.412} + \left(\frac{1210 + 273}{100}\right)^4} - 273 \quad t_{\text{печі.т}} = 1252.75 \quad (C)$$

$$Q_{\text{випр.}} := 5.76 \cdot \left(\frac{t_{\text{печі.т}} + 273}{100}\right)^4 \cdot F \cdot \phi \cdot \psi$$

$$Q_{\text{випр.}} = 5.76 \cdot \left(\frac{1252.75 + 273}{100}\right)^4 \cdot 2.25 \cdot 0.78 \cdot 0.5 \quad Q_{\text{випр.}} = 202969.53 \quad (Вт)$$

б) Втрати через вікно посада

$$t_{\text{печі.нм}} := 100 \cdot \sqrt[4]{\frac{q_{\text{мн}}}{C_{\text{печі}}} + \left(\frac{t_{\text{мн}} + 273}{100}\right)^4} - 273$$

$$t_{\text{печі.нм}} = 100 \cdot \sqrt[4]{\frac{54849.79}{3.412} + \left(\frac{20 + 273}{100}\right)^4} - 273 \quad t_{\text{печі.нм}} = 854.29 \quad (C)$$

$$Q_{\text{випр.п}} := 5.76 \cdot \left(\frac{t_{\text{печі.нм}} + 273}{100}\right)^4 \cdot F \cdot \phi \cdot \psi$$

$$Q_{\text{випр.п}} = 5.76 \cdot \left(\frac{854.29 + 273}{100}\right)^4 \cdot 2.25 \cdot 0.78 \cdot 0.5 \quad Q_{\text{випр.п}} = 60483.95 \quad (Вт)$$

в) Загальні втрати через вікно видачі

$$Q_{\text{випр.}\Sigma} := Q_{\text{випр.}} + Q_{\text{випр.п}}$$

$$Q_{\text{випр.}\Sigma} = 263453.48 \quad (Вт)$$

11. Визначаємо загальні втрати тепла з печі

$$\Sigma Q_{\text{випр.}} := 1.1 \cdot (Q_{\text{заг.}\Sigma} + Q_{\text{випр.}\Sigma})$$

$$\Sigma Q_{\text{випр.}} = 615069.94 \quad (Вт)$$

12. Загальна кількість тепла, засвоєна металом: $\delta := 1$

$$Q_M := \frac{100 - \delta}{100 \cdot 3600} \cdot P \cdot 10^3 \cdot \Delta i_{\text{заг}} \cdot 1000$$

$$Q_M = \frac{100 - 1}{100 \cdot 3600} \cdot 57 \cdot 10^3 \cdot 818.4 \cdot 1000 \quad Q_M = 12828420 \text{ (Вт)}$$

13. Тепло, виділяється від окислення заліза

$$Q_{\text{екз}} := \frac{5756.5 \cdot P \cdot 10^3 \cdot \delta \cdot 1000}{100 \cdot 3600}$$

$$Q_{\text{екз}} = \frac{5756.5 \cdot 57 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 1000}{100 \cdot 3600} \quad Q_{\text{екз}} = 911445.83 \text{ (Вт)}$$

Де 5756,5 кДж – кількість тепла, що виділяється при окисленні 1кг. заліза

14. Втрати тепла з окалиною

Де m – кількість окалини, що виділяється при окисленні 1кг. Заліза

$i_{\text{ок}}$ – тепло вміщення окалини

$C_{\text{ок}}$ – удільна теплота окалини

$$C_{\text{ок}} := 1.26 \text{ кДж/кг К} \quad m := 1.38$$

$$G_{\text{ок}} := \frac{\delta \cdot P \cdot 10^3 \cdot m}{100 \cdot 3600}$$

$$G_{\text{ок}} = \frac{1 \cdot 57 \cdot 10^3 \cdot 1.38}{100 \cdot 3600} \quad G_{\text{ок}} = 0.219 \text{ кг/с}$$

$$i_{\text{ок}} := C_{\text{ок}} \cdot (t_{\text{МК}} - t_{\text{МН}})$$

$$i_{\text{ок}} = 0.219 \cdot (1210 - 20) \quad i_{\text{ок}} = 1499.4 \text{ кДж/кг}$$

$$Q_{\text{окл}} := G_{\text{ок}} \cdot i_{\text{ок}} \cdot 1000$$

$$Q_{\text{окл}} = 0.219 \cdot 1499.4 \cdot 1000 \quad Q_{\text{окл}} = 327618.9 \text{ (Вт)}$$

15. Тепло засвоєне металом від окислення заліза

$$Q_{\text{засв. Fe}} := Q_{\text{екз}} + Q_{\text{окл}}$$

$$Q_{\text{засв. Fe}} = 911445.83 + 327618.9 \quad Q_{\text{засв. Fe}} = 1239064.73 \quad (\text{Вт})$$

16. Тепло засвоєне металом від спалювання палива

$$Q_{\text{засв. пал}} := Q_{\text{м}} + Q_{\text{засв. Fe}}$$

$$Q_{\text{засв. пал}} = 12828420 + 1239064.73 \quad Q_{\text{засв. пал}} = 14067484.73 \quad (\text{Вт})$$

17. Корисна теплова міцність:

$$M_{\text{кор}} := \frac{Q_{\text{засв. пал}}}{\eta_{\text{заг}}}$$

$$M_{\text{кор}} = \frac{14067484.73}{0.699} \quad M_{\text{кор}} := 20126667.85 \quad (\text{Вт})$$

18. Міцність холостого ходу:

$$M_{\text{хх}} := \frac{\Sigma Q_{\text{випр.}}}{\eta_{\text{заг}}}$$

$$M_{\text{хх}} = \frac{615069.94}{0.699} \quad M_{\text{хх}} := 879994.44 \quad (\text{Вт})$$

19. Загальна теплова міцність:

$$M_{\text{заг}} := M_{\text{кор}} + M_{\text{хх}}$$

$$M_{\text{заг}} = 20126667.85 + 879994.44 \quad M_{\text{заг}} = 21006662.29 \quad (\text{Вт})$$

20. Розхід палива:

$$B := \frac{M_{\text{заг}}}{Q_{\text{нр}} \cdot 10^3}$$

$$B = \frac{20126667.85}{35704.75 \cdot 10^3} \quad B = 0.588$$

Удільний розхід палива:

$$b := \frac{M_{\text{заг}} \cdot 3600 \cdot 1000}{P \cdot 10^3}$$

$$b = \frac{21006662.29 \cdot 3600 \cdot 1000}{57 \cdot 10^3} \quad b = 1.327 \times 10^9 \quad \text{кДж/кг}$$

21. Удільний розхід умовного палива:

$$b_{\text{ум}} := \frac{b \cdot 100}{7000} \quad b_{\text{ум}} = 1.895 \times 10^7 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

22. Коефіцієнт корисної дії печі:

$$\text{ККД} := \frac{Q_{\text{засв.пал}} \cdot 100}{M_{\text{заг}}}$$

$$\text{ККД} = \frac{14067484.73 \cdot 100}{21006662.29} \quad \text{ККД} = 66.967 \%$$

23. Фізичне тепло повітря:

$$Q_{\text{фв}} := B \cdot V_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}} \cdot t_{\text{в}} \cdot 1000$$

$$Q_{\text{фв}} := 0.588 \cdot 10.92 \cdot 1.33 \cdot 370 \cdot 1000 \quad Q_{\text{фв}} = 3.16 \times 10^6 \quad (\text{Вт})$$

24. Витрати тепла з у ходячими газами:

$$Q_{\text{yx}} := B \cdot V_{\text{д}} \cdot i_{\text{yx}} \cdot 1000$$

$$Q_{\text{yx}} := 0.588 \cdot 11.921 \cdot 1352.465 \cdot 1000 \quad Q_{\text{yx}} = 9.48 \times 10^6 \quad (\text{Вт})$$

25. Невраховані витрати з печі:

$$Q_{\text{пв}} := 0.1 \cdot (Q_{\text{випр.}\Sigma} + Q)$$

$$Q_{\text{пв}} = 0.1 \cdot (263453.48 + 295701.01) \quad Q_{\text{пв}} := 539266.7 \quad (\text{Вт})$$

Побудуємо таблицю теплового балансу печі

Таблиця 6.1 – Тепловий баланс печі

Прихід	10 ⁶ Вт	Розхід	10 ⁶ Вт
1. Тепло від спалювання палива $Q_m = B \cdot Q_n^p$ $= 0.588 \cdot 35704.75 =$ $= 21006.66 \text{ (кВт)}$	21	1. Тепло від спалювання палива $Q_{\text{засв.пал}} = 14.07 \cdot 10^6 \text{ (кВт)}$	14.07
2. Фізичне тепло повітря $Q_{\text{фв}} = 3.16 \cdot 10^6 \text{ (Вт)}$	3.16	2. Тепло, засвоєне металом від окислення заліза $Q_{\text{засв. Fe}} = 1.239 \cdot 10^6 \text{ (Вт)}$	1.239
3. Тепло, що виділяється від окислення заліза $Q_{\text{екз}} = 0.9114 \cdot 10^6 \text{ (Вт)}$	1.119	3. Витрати тепла з уходячими газами $Q_{\text{ух}} = 9.48 \cdot 10^6 \text{ (Вт)}$	9.48
		4. Витрати тепла, через кладку печі $Q_{\text{заг.кл}} = 0.27 \cdot 10^6 \text{ (Вт)}$	0.27
		5. Витрати тепла через вікна $Q_{\text{випр.}\Sigma} = 0.264 \cdot 10^6 \text{ (Вт)}$	0.264
		6. Витрати тепла з окалиною $Q_{\text{ок}} = 0.328 \cdot 10^6 \text{ (Вт)}$	0.328
		7. Невраховані витрати $Q_{\text{пв}} = 0.539 \cdot 10^6 \text{ (Вт)}$	0.54
Разом $\Sigma =$	25.28	Разом $\Sigma =$	26.19