

1. Przewodzenie

Strumień przewodzonego ciepła dla ścianki płaskiej jednowarstwowej

$$Q = \frac{A\lambda}{\delta}(T_{w1} - T_{w2}) \quad [W] \quad (1.1)$$

Strumień przewodzonego ciepła dla ścianki płaskiej dwuwarstwowej

$$Q = \frac{A(T_{w1} - T_{w3})}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} \quad (1.2)$$

T_{w1}, T_{w3} – temperatury na zewnętrznych powierzchniach ścianki

Strumień przewodzonego ciepła dla ścianki płaskiej wielowarstwowej

$$Q = \frac{A(T_1 - T_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \quad (1.3)$$

lub

$$Q = \frac{A\lambda_z}{\delta}(T_1 - T_{n+1}) \quad (1.4)$$

gdzie

$$\delta = \sum_{i=1}^n \delta_i; \quad \lambda_z = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \quad (1.5)$$

Gęstość strumienia przewodzonego ciepła

$$q = \frac{Q}{A} \quad [W/m^2] \quad (1.6)$$

Strumień przewodzonego ciepła dla jednowarstwowej ścianki cylindrycznej

$$Q = \frac{2\pi l\lambda}{\ln \frac{d_2}{d_1}}(T_{w1} - T_{w2}) \quad (1.7)$$

gdzie l jest długością cylindra.

Strumień przewodzonego ciepła dla ścianki cylindrycznej dwuwarstwowej

$$Q = \frac{2\pi l(T_{w1} - T_{w3})}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2}} \quad (1.8)$$

Strumień przewodzonego ciepła dla ścianki cylindrycznej wielowarstwowej

$$Q = \frac{2\pi l(T_1 - T_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}} \quad (1.9)$$

lub

$$Q = \frac{2\pi\lambda_z l}{\ln \frac{d_{n+1}}{d_1}}(T_1 - T_{n+1}) \quad (1.10)$$

gdzie

$$\lambda_z = \frac{\ln \frac{d_{n+1}}{d_1}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}} \quad (1.11)$$

Strumień przewodzonego ciepła przypadający na jednostkę długości ścianki cylindrycznej

$$q_l = \frac{Q}{l} \quad [W/m] \quad (1.12)$$

Opór cieplny przewodzenia dla wielowarstwowej ścianki płaskiej

$$R_\lambda = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} = \sum_{i=1}^n R_{\lambda i} \quad \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right] \quad (1.13)$$

Gęstość strumienia ciepła

$$q = \frac{T_1 - T_{n+1}}{R_\lambda} \quad (1.14)$$

Liniowy opór przewodzenia dla wielowarstwowej ścianki cylindrycznej

$$R_{\lambda l} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} = \sum_{i=1}^n R_{\lambda li} \quad \left[\frac{m \cdot K}{W} \right] \quad (1.15)$$

$$R_{\lambda l} = \frac{1}{2\lambda_z} \ln \left(\frac{d_{n+1}}{d_1} \right) \quad (1.16)$$

Strumień ciepła na jednostkę długości cylindra

$$q_l = \frac{\pi(T_1 - T_{n+1})}{R_{\lambda l}} \quad \left[\frac{W}{m} \right] \quad (1.17)$$

2. Wnikanie, przenikanie

Wnikanie ciepła

$$Q = A\alpha(T_w - T_f) \quad (2.1)$$

Przenikanie dla zewnętrznej powierzchni wymiany ciepła

$$Q = A_z k_z \Delta T \quad (2.2)$$

Współczynnik przenikania ciepła odniesiony do zewnętrznej powierzchni wymiany ciepła ścianki cylindrycznej ($d_2 > d_1$)

$$\frac{1}{k_z} = \frac{d_2}{d_1 \alpha_1} + \frac{d_2}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2} \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right] \quad (2.3)$$

$$k_l = k_z d_2 \quad (2.4)$$

Zewnętrzna powierzchnia wymiany ciepła dla ścianki cylindrycznej

$$A_z = \pi d_2 l \quad (2.5)$$

Przenikanie przez ściankę cylindryczną o długości l

$$Q = \pi l k_l (T_{f1} - T_{f2}) \quad [W] \quad (2.6)$$

Przenikanie przez n ścianek rurek każda o długości l w wymienniku ciepła

$$Q = \pi n l k_l \Delta T_{\ln} \quad [W] \quad (2.7)$$

Liniowy współczynnik przenikania ciepła dla cylindrycznej ścianki jednowarstwowej

$$\frac{1}{k_l} = \frac{1}{d_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{d_2 \alpha_2} \left[\frac{m \cdot K}{W} \right] \quad (2.8)$$

Liniowy współczynnik przenikania ciepła dla ścianki cylindrycznej dwuwarstwowej

$$\frac{1}{k_l} = \frac{1}{d_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{d_3 \alpha_2} \left[\frac{m \cdot K}{W} \right] \quad (2.9)$$

3. Wnikanie ciepła dla powierzchni ożebrowanej

$$m = \sqrt{\frac{2\alpha}{\delta\lambda}} \left[\frac{1}{m} \right] \quad (3.1)$$

Sprawność żebra

$$\eta_z = \frac{T_z - T_f}{T_w - T_f} \quad (3.2)$$

Sprawność powierzchni ożebrowanej

$$\eta_{poż} = 1 - \frac{A_z}{A} (1 - \eta_z) \quad (3.3)$$

$$Q = A \alpha (T_w - T_f) \eta_{poż} \quad (3.4)$$

Współczynnik przenikania ciepła dla ożebrowanej ścianki płaskiej odniesiony do strony ożebrowanej

$$\frac{1}{k_z} = \frac{A_2}{A_1 \alpha_1} + \frac{A_2 \delta}{A_1 \lambda} + \frac{1}{\alpha_2 \eta_{poż}} \quad (3.5)$$

Współczynnik przenikania ciepła dla pęczka n rurek o długości l , ożebrowanych na zewnątrz, odniesiony do zewnętrznej powierzchni wymiany ciepła, A_2

$$\frac{1}{k_z} = \frac{A_2}{A_1 \alpha_1} + \frac{A_2}{2\pi l n \lambda} \ln \left(\frac{d_2}{d_1} \right) + \frac{1}{\alpha_2 \eta_{poż}} \quad (3.6)$$

A_1 – powierzchnia wymiany ciepła wewnątrz rurek

4. Liczby podobieństwa

W poniższych zależnościach l jest wymiarem charakterystycznym

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \quad (4.1)$$

$$Re = \frac{w \cdot l}{\nu} \quad (4.2)$$

Dla przepływu w rurze $l = d_w$.

$$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} \quad (4.3)$$

$$Pe = Re \cdot Pr \quad (4.4)$$

$$Gr = \frac{g \cdot l^3}{\nu^2} \cdot \beta \cdot \Delta T \quad (4.5)$$

$$St = \frac{\alpha}{G c_p} \quad (4.6)$$

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho w^2} \quad (4.7)$$

$$j = St Pr^{2/3} \quad (4.8)$$

5. WZORY RÓŻNE

Współczynnik dyfuzyjności cieplnej

$$a = \frac{\lambda}{\rho c_p} \left[\frac{m^2}{s} \right] \quad (5.1)$$

Strumień czynnika

$$m = A w \rho \quad [kg/s] \quad (5.2)$$

Prędkość masowa

$$G = \rho w \left[\text{kg} / (\text{m}^2 \cdot \text{s}) \right] \quad (5.3)$$

Pojemność cieplna czynnika

$$W = mc_p [W/K] \quad (5.4)$$

Średnica hydrauliczna kanału

$$d_h = \frac{4A}{\Omega} \quad (5.5)$$

6. Wymienniki ciepła

Średnia logarytmiczna różnica temperatur dla współprądu i przeciwprądu

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T' - \Delta T''}{\ln \left(\frac{\Delta T'}{\Delta T''} \right)} \quad (6.1)$$

Poprawka $\varepsilon_{\Delta T}$ dla przepływu mieszanego

$$P = \frac{T_2'' - T_2'}{T_1' - T_2'} = \frac{\Delta T_2}{\Delta T_{\max}} \quad (6.2)$$

$$R = \frac{T_1' - T_1''}{T_2'' - T_2'} = \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \quad (6.3)$$

$$\Delta T_{sr} = \Delta T_{ln pp} \varepsilon_{\Delta T} \quad (6.4)$$

Sprawność wymiennika

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} \quad (6.5)$$

$$Q_{\max} = W_{\min} (T_1' - T_2') \quad (6.6)$$

Strumień ciepła przekazywany w wymienniku

$$Q = W_1 (T_1' - T_1'') = W_2 (T_2'' - T_2') \quad (6.7)$$

Liczba jednostek przenikania ciepła

$$N = \frac{Ak}{W_{\min}} \quad (6.8)$$

Stosunek pojemności cieplnych czynników

$$W = \frac{W_{\min}}{W_{\max}} \quad (6.9)$$

7. Opory hydrauliczne

Spadek ciśnienia w rurce spowodowany tarciem

$$\Delta p = 4f \frac{L}{d_w} \frac{\rho w^2}{2} \quad (7.1)$$

OZNACZENIA

$A [m^2]$ - powierzchnia wymiany ciepła

Eu - liczba *Eulera*

f - współczynnik tarcia *Fanninga*

$G [kg / (m^2 \cdot s)]$ - prędkość masowa

Gr - liczba *Grashofa*

j - moduł *Colburna*

$l [m]$ - wymiar charakterystyczny, może nim być średnica hydrauliczna kanału

$l [m]$ - długość rury; długość kanału

$m [kg/s]$ - strumień czynnika

Nu - liczba *Nusselta*

Pe - liczba *Pécleta*

St - liczba *Stantona*

T_z - średnia temperatura żebra

$w [m/s]$ - prędkość czynnika

$\alpha [W / (m^2 \cdot K)]$ - współczynnik wnikania (przejmowania) ciepła (*alfa*)

$\varepsilon_{\Delta T}$ - poprawka przy obliczaniu średniej różnicy temperatur przy przepływie mieszanym (*epsilon*)

η_z - sprawność żebra (*eta*)

η_{poz} - sprawność powierzchni ożebrowanej (*eta*)

$\lambda [W / (m \cdot K)]$ - współczynnik przewodzenia ciepła (*lambda*)

λ_z - równoważny (zastępczy) współczynnik przewodzenia ciepła

$\mu [Pa \cdot s]$ - współczynnik lepkości dynamicznej (*mi*)

$\nu [m^2/s]$ - współczynnik lepkości kinematycznej (*ni*)

ρ [kg / m^3] - gęstość (*rho*)

Ω [m] – obwód zwilżony kanału (*omega*)