

Wnikanie ciepła do powierzchni ożebrowanych

1. Obliczanie współczynnika wnikania ciepła

Współczynnik wnikania ciepła dla ożebrowanych powierzchni pęczków rur można wyznaczać z empirycznych zależności opisujących zależność bezwymiarowego modułu *Colburna*, j , od liczby *Reynoldsa*, Re

$$j = f(Re) \quad (1.1)$$

gdzie moduł *Colburna* jest zdefiniowany jako

$$j = St Pr^{2/3} \quad (1.2)$$

Zależność $j(Re)$ może być podana w formie wzoru lub w formie wykresu.

St jest liczbą podobieństwa *Stantona* definiowaną następująco

$$St = \frac{\alpha}{G c_p} \quad (1.3)$$

gdzie G jest prędkością masową czynnika w najmniejszym przekroju swobodnym pęczka A_s .

$$G = \rho w_{\max} \left[\frac{kg}{(m^2 \cdot s)} \right] \quad (1.4)$$

W najmniejszym przekroju swobodnym pęczka występuje maksymalna prędkość w_{\max} .

Liczby *Stantona* i *Nusselta* są ze sobą powiązane za pomocą zależności

$$St = \frac{Nu}{Re Pr} \quad (1.5)$$

Liczbę *Reynoldsa* dla pęczka oblicza się z zależności

$$Re = \frac{w_{\max} D_h}{\nu} \quad (1.6)$$

Średnica hydrauliczna, D_h , jest obliczana następująco

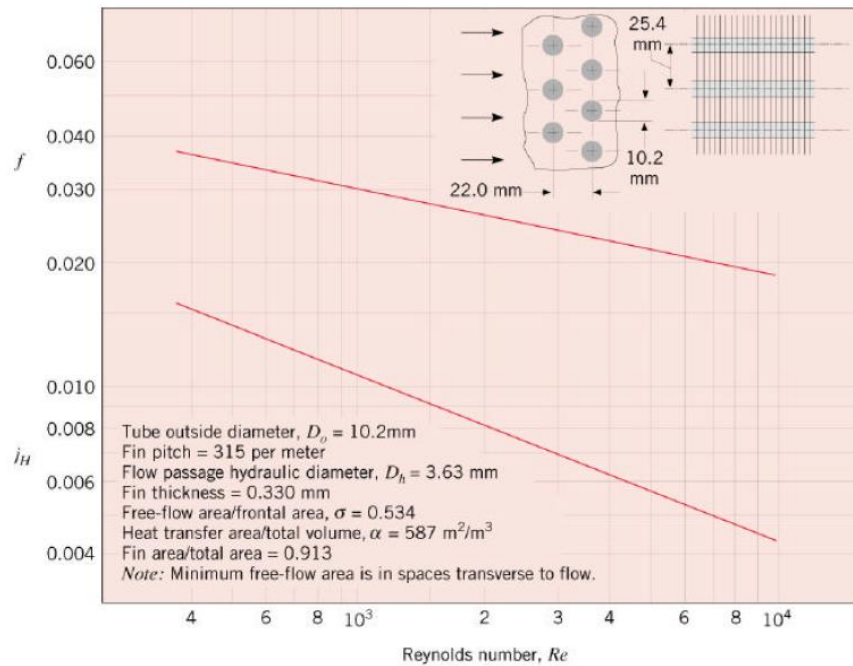
$$D_h = 4L \frac{A_s}{A} \quad (1.7)$$

gdzie:

L – głębokość pęczka (wymiar pęczka w kierunku przepływu),
m

A_s – najmniejszy swobodny przekrój pęczka, m

A – całkowita powierzchnia wymiany ciepła pęczka po stronie ożebrowanej (powierzchnia żeber plus powierzchnia nieożebrowanych części rurek), m^2



Rys. 1-1. Zależność modułu Colburna, j_H , oraz współczynnika oporu tarcia, f , dla przykładowego pęczka rur ożebrowanych (pęczek 8.0-3/8T - Kays and London).

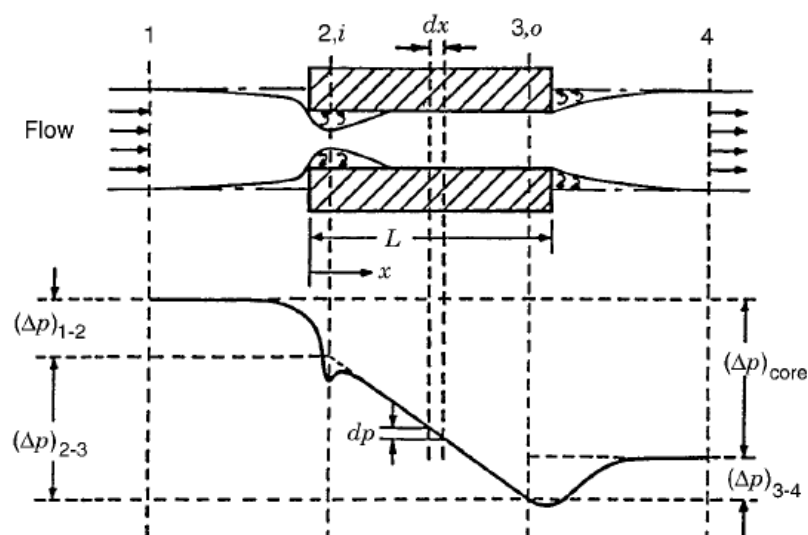
Po określeniu modułu *Colburna* z zależności (1.1), lub po odczytaniu go z odpowiedniego wykresu (np. przedstawionego na rys. 1-1), obliczamy liczbę *Stantona* z równania (1.2)

$$St = \frac{j}{Pr^{2/3}}$$

i dalej współczynnik wnikania ciepła z równania (1.3)

$$\alpha = StGc_p$$

2. Obliczanie strat ciśnienia podczas przepływu czynnika przez pęczek rur z ożebrowaniem płytowym



Rys. 2.1. Spadek ciśnienia statycznego w pęczku rur z żebrami w formie płyt.

Na całkowity spadek ciśnienia statycznego w pęczku wpływają następujące czynniki:

- 1) Spadek ciśnienia na wlocie do wymiennika wynikający ze zmniejszenia się pola przekroju poprzecznego kanału, którym płynie czynnik.
- 2) Zmiany ciśnienia spowodowane zmianą prędkości czynnika wzdłuż drogi przepływu, wynikającą ze zmiany jego temperatury (podczas ogrzewania czynnika następuje wzrost jego prędkości, podczas chłodzenia prędkość czynnika maleje).
- 3) Straty ciśnienia spowodowane tarcieniem czynnika.

4) Wzrost ciśnienia na wylocie z wymiennika wynikający ze zwiększenia się pola przekroju poprzecznego kanału, którym płynie czynnik.

Dominującym czynnikiem wpływającym na spadek ciśnienia statycznego w pęczku jest tarcie. Straty ciśnienia spowodowane tarciami stanowią około 90%, a nawet więcej, całkowitych strat ciśnienia. Zmiany ciśnienia na wlocie i wylocie stają się bardziej znaczące dla wymienników o małej głębokości i małych wartościach współczynnika $\sigma = A_s/A_p$ oraz przy dużych liczbach *Reynoldsa*.

Całkowity spadek ciśnienia w wymienniku jest równy

$$\Delta p = \Delta p_{wl} + \Delta p_T + \Delta p_f - \Delta p_{wy} \quad (2.1)$$

gdzie kolejne składniki równania (2.1) opisane są w punktach 1-4 powyżej.

$$\Delta p_{wl} = \frac{G^2}{2\rho_{wl}}(k_{wl} + 1 - \sigma)$$

$$\Delta p_T = \frac{G^2}{\rho_{wl}} \left(\frac{\rho_{wl}}{\rho_{wy}} - 1 \right)$$

$$\Delta p_f = f \frac{G^2}{2\rho_f} \times \frac{A}{A_s} = f \frac{G^2}{2\rho_f} \times \frac{4L}{D_h}$$

$$\Delta p_{wy} = \frac{G^2}{2\rho_{wy}}(k_{wy} + 1 - \sigma)$$

gdzie:

$G = \rho w_{\max}$ - prędkość masowa w najmniejszym przekroju swobodnym A_s , $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

k_{wl} - współczynnik strat ciśnienia na wlocie do wymiennika,

k_{wy} - współczynnik strat ciśnienia na wylocie z wymiennika,

L – głębokość wymiennika,

ρ_{wl} – gęstość czynnika na wlocie do pęczka, kg/m^3 ,

ρ_{wy} – gęstość czynnika na wylocie z pęczka, kg/m^3 ,

ρ_f – średnia gęstość czynnika w pęczku, kg/m^3 ,

A – całkowita zewnętrzna powierzchnia wymiany ciepła (żebra plus rurki)

Przykład

Obliczyć spadek ciśnienia powietrza w pęczku przedstawionym na rys. 2-1 dla następujących danych: ciśnienie powietrza napływającego do pęczka 1,013 bar, temperatura 400 K, prędkość w największym przekroju pęczka $w_{\max} = 28,5 \text{ m/s}$, głębokość pęczka $L = 0,44 \text{ m}$.

Z tablic odczytujemy parametry termofizyczne powietrza:

$$\rho = 0,8825 \text{ kg / m}^3$$

$$\mu = 2,29 \cdot 10^{-5} \text{ kg / (m} \cdot \text{s)}$$

$$c_p = 1013 \text{ J / (kg} \cdot \text{K)}$$

$$\text{Pr} = 0,719$$

$$G = w_{\max} \rho = 28,5 \cdot 0,8825 = 25,15 \text{ kg / (m}^2 \cdot \text{s)}$$

$$D_h = 0,00363 \text{ m} \quad - \text{ dane (patrz rys. 2-1)}$$

$$\text{Re} = \frac{GD_h}{\mu} = \frac{25,15 \cdot 0,00363}{2,29 \cdot 10^{-5}} = 3986$$

Z wykresu na rys. 2.1 odczytujemy

$$f = 0,036$$

$$\Delta p_f = f \frac{G^2}{2\rho_f} \times \frac{4L}{D_h}$$

Zakładamy, że $\rho_f \cong \rho$.

Stąd

$$\Delta p_f = 0.036 \frac{25,15^2}{2 \cdot 0,8825} \times \frac{4 \cdot 0,44}{0,00363} = 6255 \text{ Pa}$$