



TD 5: Les Echangeurs de Chaleur

Exercice No.1. Un échangeur de chaleur à tube concentrique à contre-courant est utilisé pour refroidir l'huile de lubrification pour un grand moteur à turbine à gaz industriel. Le débit d'eau de refroidissement à travers le tube interne ($D_i = 25$ mm) est de 0,2 kg/s, tandis que le débit d'huile à travers l'anneau extérieur ($D_o = 45$ mm) est de 0,1 kg/s. L'huile et l'eau entrent à des températures de 100 et 30 °C, respectivement. Quelle est la longueur du tube si la température de sortie de l'huile doit être de 60 °C?

Propriétés: Huile ($T_h _ 80^\circ\text{C} = 353$ K): $C_p = 2131$ J/kg·K, $\mu = 3.25 \times 10^{-2}$ N·s/m², $k = 0.138$ W/m·K.
 Eau ($T_c = 35^\circ\text{C}$): $C_p = 4178$ J/kg·K, $\mu = 725 \times 10^{-6}$ N·s/m², $k = 0.625$ W/m·K, $Pr = 4.85$.

Solution Exercice No.1.

1. Perte de chaleur négligeable vers l'environnement.
2. Variations des énergies cinétiques et potentielles négligeables.
3. Propriétés thermophysiques constantes.
4. Résistance thermique négligeable de la paroi du tube et facteurs d'encrassement.
5. Écoulement complètement établi pour l'eau et l'huile (U indépendant de x).

Le taux de transfert de chaleur requis peut être obtenu à partir de l'équilibre énergétique pour le fluide chaud,

$$q = \dot{m}_h c_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o})$$

$$q = 0.1 \text{ kg/s} \times 2131 \text{ J/kg} \cdot \text{K} (100 - 60)^\circ\text{C} = 8524 \text{ W}$$

La température de sortie de l'eau est

$$T_{c,o} = \frac{q}{\dot{m}_c c_{p,c}} + T_{c,i}$$

$$T_{c,o} = \frac{8524 \text{ W}}{0.2 \text{ kg/s} \times 4178 \text{ J/kg} \cdot \text{K}} + 30^\circ\text{C} = 40.2^\circ\text{C}$$

En conséquence, l'utilisation de $T_c = 35$ °C pour évaluer les propriétés de l'eau était un bon choix. La longueur d'échangeur de chaleur requise peut maintenant être obtenue

Où $q = UA \Delta T_{lm}$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln [(T_{h,i} - T_{c,o}) / (T_{h,o} - T_{c,i})]} = \frac{59.8 - 30}{\ln (59.8/30)} = 43.2^\circ\text{C}$$

Le coefficient global de transfert de chaleur est

$$U = \frac{1}{(1/h_i) + (1/h_o)}$$

Pour l'écoulement de l'eau à travers le tube,

$$Re_D = \frac{4\dot{m}_c}{\pi D_i \mu} = \frac{4 \times 0.2 \text{ kg/s}}{\pi (0.025 \text{ m}) 725 \times 10^{-6} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2} = 14,050$$

$$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^{0.4}$$

$$Nu_D = 0.023 (14,050)^{4/5} (4.85)^{0.4} = 90$$

$$h_i = Nu_D \frac{k}{D_i} = \frac{90 \times 0.625 \text{ W/m} \cdot \text{K}}{0.025 \text{ m}} = 2250 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Pour le flux d'huile à travers l'anneau, le diamètre hydraulique est

$$D_h = D_o - D_i = 0.02 \text{ m,}$$

Et le nombre de Reynolds est :

$$Re_D = \frac{\rho u_m D_h}{\mu} = \frac{\rho(D_o - D_i)}{\mu} \times \frac{\dot{m}_h}{\rho \pi (D_o^2 - D_i^2)/4}$$

$$Re_D = \frac{4 \dot{m}_h}{\pi (D_o + D_i) \mu} = \frac{4 \times 0.1 \text{ kg/s}}{\pi (0.045 + 0.025) \text{ m} \times 3.25 \times 10^{-2} \text{ kg/s} \cdot \text{m}} = 56.0$$

Exercice No.2.

Les gaz d'échappement chauds, qui pénètrent à 300 °C dans un échangeur de chaleur à tube ailettes à courant croisés (en anglais cross-flow) et quittent à 100 °C, sont utilisés pour chauffer l'eau sous pression à un débit de 1 kg/s de 35 à 125 °C. La chaleur spécifique des gaz d'échappement est d'environ 1000 J/kg·K, et le coefficient global de transfert de chaleur basé sur la surface du côté gazeux est de $U_h = 100 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Déterminer l'aire de la surface d'échange du côté du gaz A_h requise en utilisant la méthode NTU.

Propriétés : Eau ($T_c = 80^\circ\text{C}$): $C_{p,c} = 4197 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$. Gaz d'échappement : $C_{p,h} = 1000 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$.

Solution Exercice No.2

La surface requise peut être obtenue à partir de la connaissance du nombre d'unités de transfert, qui, à son tour, peut être obtenu à partir de la connaissance du rapport des taux de capacité thermique et de l'efficacité. Pour déterminer le taux de capacité thermique minimum, nous commençons par calculer

$$C_c = \dot{m}_c c_{p,c} = 1 \text{ kg/s} \times 4197 \text{ J/kg} \cdot \text{K} = 4197 \text{ W/K}$$

Puisque \dot{m} le débit massique n'est pas spécifié C_h est obtenu à partir d'un bilan énergétique :

$$C_h = \dot{m}_h c_{p,h} = C_c \frac{T_{c,o} - T_{c,i}}{T_{h,i} - T_{h,o}} = 4197 \frac{125 - 35}{300 - 100} = 1889 \text{ W/K} = C_{\min}$$

$$q_{\max} = C_{\min}(T_{h,i} - T_{c,i}) = 1889 \text{ W/K} (300 - 35)^\circ\text{C} = 5.00 \times 10^5 \text{ W}$$

$$q = \dot{m}_c c_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) = 1 \text{ kg/s} \times 4197 \text{ J/kg} \cdot \text{K} (125 - 35)^\circ\text{C}$$

$$q = 3.78 \times 10^5 \text{ W}$$

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{\max}} = \frac{3.78 \times 10^5 \text{ W}}{5.00 \times 10^5 \text{ W}} = 0.75$$

$$\frac{C_{\min}}{C_{\max}} = \frac{1889}{4197} = 0.45$$

$$\varepsilon = 1 - \exp \left[\left(\frac{1}{C_r} \right) (\text{NTU})^{0.22} \{ \exp [- C_r (\text{NTU})^{0.78}] - 1 \} \right]$$

Par itération on trouve :

$$\text{NTU} = \frac{U_h A_h}{C_{\min}} \approx 2.1$$

$$A_h = \frac{2.1(1889 \text{ W/K})}{100 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}} = 39.7 \text{ m}^2$$