

17/setembro/2020

12) Um trocador de calor bitubular (tubos concêntricos), com configuração de escoamento contracorrente, é empregado para resfriar óleo lubrificante de um motor de turbina a gás industrial.

A vazão mássica de água através do tubo interno ( $D_i = 25 \text{ mm}$ ) é de  $0,2 \text{ kg/s}$ , enquanto a vazão do óleo através da região anular ( $D_e = 45 \text{ mm}$ ) é de  $0,1 \text{ kg/s}$ .

O óleo ( $C_p = 2131 \text{ J/kg.K}$ ,  $\mu = 3,25 \cdot 10^{-2} \text{ N.s/m}^2$ ,  $k = 0,138 \text{ W/m.K}$ ) entra a  $100^\circ\text{C}$  e a água ( $C_p = 4178 \text{ J/kg.K}$ ,  $\mu = 725 \cdot 10^{-6} \text{ N.s/m}^2$ ,  $k = 0,625 \text{ W/m.K}$ ) entra a  $30^\circ\text{C}$ .

Qual deve ser o comprimento do trocador de calor se a temperatura de saída do óleo deve ser de  $60^\circ\text{C}$ ?

| Óleo (seção anular)        | Água (tubo interno)       | $Q = U.A.DT_{ML}$ |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|
| $m = 0,1$                  | $m = 0,2$                 |                   |
| $C_p = 2131$               | $C_p = 4178$              |                   |
| $T_{qe} = 100$             | $T_{fe} = 30$             |                   |
| $T_{qs} = 60$              | $T_{fs} = ? \text{ 40,2}$ |                   |
| $\mu = 3,25 \cdot 10^{-2}$ | $\mu = 725 \cdot 10^{-6}$ |                   |
| $k = 0,138$                | $k = 0,625$               |                   |

Cálculo da carga térmica do trocador de calor:

$$Q = m.C_p.\Delta T \rightarrow Q = 0,1.2131.(100-60) \rightarrow Q = 8524 \text{ W}$$

Cálculo da temperatura de saída da água:

$$8524 = 0,2.4178.(T_{fs}-30) \rightarrow T_{fs} = 40,2 \text{ C}$$

Cálculo de  $DT_{ML}$ :

$$\Delta T_1 = T_{qe} - T_{fs} \rightarrow \Delta T_1 = 100 - 40,2 \rightarrow \Delta T_1 = 59,8 \text{ C}$$

$$\Delta T_2 = T_{qs} - T_{fe} \rightarrow \Delta T_2 = 60 - 30 \rightarrow \Delta T_2 = 30 \text{ C}$$

$$DT_{ML} = (59,8-30)/\ln(59,8/30) \rightarrow DT_{ML} = 43,2 \text{ C}$$

Para o escoamento no tubo interno (água):

$$Re = 4.m/\pi.D.\mu \rightarrow Re = 4.0,2/(3,1415927.0,025.725 \cdot 10^{-6}) \rightarrow Re = 14049$$

$$Pr = C_p.\mu/k \rightarrow Pr = 4178.725 \cdot 10^{-6}/0,625 \rightarrow Pr = 4,85$$

$$Nu = h.D/k = 0,023.Re^{0,8}.Pr^{0,4} \rightarrow h.0,025/0,625 = 0,023.14049^{0,8}.4,85^{0,4} \rightarrow h_i = 2249,5 \text{ W/m}^2.C$$

Para o escoamento na seção anular (óleo):

$$D_h = D_e - D_i \rightarrow D_h = 0,045 - 0,025 \rightarrow D_h = 0,020 \text{ m}$$

$$Re = 4.m/\pi.D_h.\mu \rightarrow Re = 4.0,1/3,1415927.0,02.3,25 \cdot 10^{-2} \rightarrow Re = 196 \text{ (regime laminar)}$$

$$D_i/D_e = 0,025/0,045 \rightarrow D_i/D_e = 0,555$$

$$Nu_i \text{ estará entre } 5,74 \text{ e } 4,86: Nu = 5,63$$

$$Nu = h.D/k \rightarrow 5,63 = h.0,02/0,138 \rightarrow h_e = 38,85 \text{ W/m}^2.C$$

Cálculo do coeficiente global de troca de calor:

$$1/U_i = 1/h_i + D_i/h_e.D_e \rightarrow 1/U_i = 1/2249,5 + 1/38,85$$

( $D_e$  é o diâmetro externo do tubo interno que não foi informado e  $D_i$  é o diâmetro interno do tubo interno que não foi informado, considera-se como diâmetro nominal do tubo interno  $25 \text{ mm}$ . A expressão para o cálculo de  $U$  refere-se à parede de troca de calor que é a parede do tubo interno)

$$U_i = 38,19 \text{ W/m}^2.C$$

Cálculo da área de troca de calor e do comprimento do trocador de calor:

$$Q = U_i \cdot A_i \cdot DTML \rightarrow 8524 = 38,19 \cdot A_i \cdot 43,2 \rightarrow A_i = 5,166 \text{ m}^2$$

$$A_i = \pi \cdot D_i \cdot L \rightarrow 5,166 = 3,1415927 \cdot 0,025 \cdot L \rightarrow L = 65,77 \text{ m}$$

13) Precisa-se projetar um trocador de calor de tubos concêntricos destinado a resfriar um produto orgânico ( $C_p = 1,88 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ,  $k = 0,15 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ ,  $\rho = 795 \text{ kg/m}^3$  e  $\mu = 0,00038 \text{ kg/m} \cdot \text{s}$ ) de  $82^\circ\text{C}$  para  $38^\circ\text{C}$ , que circula no tubo interno, utilizando água fria entrando na seção anular em contracorrente a  $21^\circ\text{C}$ .

Deverão ser empregados tubos de aço, sendo o **tubo interno** com diâmetro interno 30 mm e **diâmetro externo 32 mm** e o **tubo externo** com **diâmetro interno 50 mm** e diâmetro externo 53 mm.

Considere para a água as propriedades médias:  $C_p = 4,18 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ,  $k = 0,625 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ ,  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  e  $\mu = 0,000725 \text{ kg/m} \cdot \text{s}$ .

Se a vazão do produto orgânico for 3250 kg/h e a de água for 4680 kg/h, qual deve ser a área de troca de calor do trocador de calor?

|                         |                            |                            |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Produto orgânico (tubo) | Água fria (seção anular)   | $Q = U \cdot A \cdot DTML$ |
| $C_p = 1880$            | $C_p = 4180$               |                            |
| $k = 0,15$              | $k = 0,625$                |                            |
| $\rho = 795$            | $\rho = 1000$              |                            |
| $\mu = 0,00038$         | $\mu = 0,000725$           |                            |
| $T_{qe} = 82$           | $T_{fe} = 21$              |                            |
| $T_{qs} = 38$           | $T_{fs} = ? \text{ 34,75}$ |                            |
| $m = 3250/3600 = 0,903$ | $m = 4680/3600 = 1,3$      |                            |

Cálculo da carga térmica:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \rightarrow Q = 0,903 \cdot 1880 \cdot (82 - 38) \rightarrow Q = 74696 \text{ W}$$

Cálculo da temperatura de saída da água:

$$74696 = 1,3 \cdot 4180 \cdot (T_{fs} - 21) \rightarrow T_{fs} = 34,75 \text{ C}$$

Cálculo de DTML:

$$\Delta T_1 = T_{qe} - T_{fs} \rightarrow \Delta T_1 = 82 - 34,75 = 47,25 \text{ C}$$

$$\Delta T_2 = T_{qs} - T_{fe} \rightarrow \Delta T_2 = 38 - 21 = 17 \text{ C} \rightarrow DTML = (47,25 - 17) / \ln(47,25 / 17) \rightarrow DTML = 29,59 \text{ C}$$

Cálculo de h para o tubo interno (produto orgânico):

$$Re = 4 \cdot m / \pi \cdot D \cdot \mu \rightarrow Re = 4 \cdot 0,903 / 3,1415927 \cdot 0,03 \cdot 0,00038 \rightarrow Re = 100854$$

$$Pr = C_p \cdot \mu / k \rightarrow Pr = 1880 \cdot 0,00038 / 0,15 \rightarrow Pr = 4,763$$

$$Nu = h \cdot D / k = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3} \rightarrow h \cdot 0,030 / 0,15 = 0,023 \cdot 100854^{0,8} \cdot 4,763^{0,3} \rightarrow h_i = 1849,3 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Cálculo de h para a seção anular (água):

$$D_h = D_e - D_i \rightarrow D_h = 0,050 - 0,032 \rightarrow D_h = 0,018 \text{ m}$$

