FT I – Exercicios

Felipe B. Pinto 61387 - MIEQB

25 de novembro de 2022

Conteúdo

Questão 4 – 1

Bombeia-se um produto petrolífero a um certo caudal por um tubo horizontal com um comprimento de 100 m e um diametro (D) de 0.15 m. A queda de pressão por atrito no tubo é 70 $\mathrm{kN\,m^{-2}}$ Durante uma reparação no tubo usou-se tubagem alternativa (70 m de 0.2 m de diâmetro, seguidos de 50 m de 0.1 m de diâmetro). A bomba existente tem uma pressão de descarga de 350 $\mathrm{kN\,m^{-2}}$. Trabalhando com o mesmo caudal pode-se continuar a usar a mesma bomba durante as reparações? Despreze a variação de energia cinética.

- $L_1 = 100\,\mathrm{m}$
- $D_1 = 0.15\,\mathrm{m}$
- $-\Delta P_{at} = 70\,\mathrm{kN\,m^{-2}}$
- $-\Delta P_{desc} = 350\,\mathrm{kN\,m^{-2}}$
- $\varepsilon = 0.005\,\mathrm{mm}$
- $\mu = 0.5 * 10^{-3}\,\mathrm{kg\,m^{-1}\,s^{-1}}$
- $\rho = 700\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$
- tubagem alternativa:
  - $L_{2.1} = 70\,\mathrm{m}$
  - $D_{2.1} = 0.2\,\mathrm{m}$
  - $L_{2.2} = 50\,\mathrm{m}$
  - $D_{2.2} = 0.1\,\mathrm{m}$

RS

$$W_{b.1} \geq W_{b.2} \vee W_{b.1} \leq W_{b.2}$$

$$w_{b.2} = -\mathit{\Delta} P_{b.2}\, G_v = h_{b.2}\,\rho\, g\, G_v = (h_{at.2.1} + h_{at.2.2})\;\rho\, g\, G_v =$$

$$= \left(\begin{array}{l} \dfrac{-\mathit{\Delta} P_{at.2.1}}{\rho\, g} + \\ + \dfrac{-\mathit{\Delta} P_{at.2.2}}{\rho\, g} \end{array}\right) \rho\, g\, G_v =$$

$$= \left(\begin{array}{l} 4\,\phi_{2.1}\,\rho\, L_{eq.2.1}\, v_{2.1}^2 / D_{2.1} + \\ +4\,\phi_{2.2}\,\rho\, L_{eq.2.2}\, v_{2.2}^2 / D_{2.2} \end{array}\right) G_v =$$

$$= \left(\begin{array}{l} \dfrac{\phi_{2.1}\, L_{eq.2.1}}{D_{2.1}} \left(\dfrac{G_v}{\pi\,(D_{2.1}/2)^2}\right)^2 + \\ + \dfrac{\phi_{2.2}\, L_{eq.2.2}}{D_{2.2}} \left(\dfrac{G_v}{\pi\,(D_{2.2}/2)^2}\right)^2 \end{array}\right) \rho\, G_v\, 4 =$$

$$= \left(\begin{array}{l} \dfrac{\phi_{2.1}\, L_{eq.2.1}}{D_{2.1}^5} + \\ + \dfrac{\phi_{2.2}\, L_{eq.2.2}}{D_{2.2}^5} \end{array}\right) \frac{\rho\, G_v^3\, 4^3}{\pi^2} =$$

$$= \left(\begin{array}{l} \dfrac{\phi_{2.1}\, L_{eq.2.1}}{D_{2.1}^5} + \\ + \dfrac{\phi_{2.2}\, L_{eq.2.2}}{D_{2.2}^5} \end{array}\right) \left(\bar{v}\,\pi\,(D_1/2)^2\right)^3\;\frac{\rho\, 4^3}{\pi^2} =$$

$$= \left(\begin{array}{l} \dfrac{\phi_{2.1}\, L_{eq.2.1}}{D_{2.1}^5} + \\ + \dfrac{\phi_{2.2}\, L_{eq.2.2}}{D_{2.2}^5} \end{array}\right) \left(\frac{Re_1\,\mu}{\rho\, D_1}\, 4\,(D_1/2)^2\right)^3 \rho\,\pi =$$

$$= \left(\begin{array}{l} \dfrac{\phi_{2.1}\, L_{eq.2.1}}{D_{2.1}^5} + \\ + \dfrac{\phi_{2.2}\, L_{eq.2.2}}{D_{2.2}^5} \end{array}\right) (Re_1\,\mu\, D_1)^3\;\frac{\pi}{\rho^2}$$

$$Re_1\left(\phi_1\, Re_1^2, \varepsilon/D_1\right) = Re_1\left(\left(\frac{-\Delta P_{at}\, D_1}{4\,\rho\, v^2\, L_1}\right)\left(\frac{\bar{v}\, D_1\, \rho}{\mu}\right)^2, \frac{\varepsilon}{D_1}\right) =$$
$$= Re_1\left(\frac{-\Delta P_{at}\, D_1^3\, \rho}{4\,\mu^2\, L_1}, \frac{\varepsilon}{D_1}\right) = Re_1\left(\frac{-\Delta P_{at}\, D_1^3\, \rho}{4\,\mu^2\, L_1}, \frac{\varepsilon}{D_1}\right) =$$
$$= Re_1\left(\frac{70 * 10^3 * 0.15^3 * 700}{4 * (0.5 * 10^{-3})^2 * 100}, \frac{0.005 * 10^{-3}}{0.15}\right) \cong$$
$$\cong Re_1\left(\frac{70^2 * 1.5^3}{4 * (0.5)^2} * 10^5, 33.33\,\mathrm{E}{-6}\right) \cong$$
$$\cong Re_1\left(1.65\,\mathrm{E}9, 33.33\,\mathrm{E}{-6}\right) \cong 1.00 * 10^6$$

$$\phi_{2.1}\left(Re_{2.1}, \varepsilon/D_{2.1}\right) = \phi_{2.1}\left(\frac{\rho\, v_{2.1}\, D_{2.1}}{\mu}, \frac{\varepsilon}{D_{2.1}}\right) =$$
$$= \phi_{2.1}\left(\frac{\rho\, D_{2.1}}{\mu}\left(\frac{G_v}{\pi\,(D_{2.1}/2)^2}\right), \frac{\varepsilon}{D_{2.1}}\right) =$$
$$= \phi_{2.1}\left(\frac{\rho\, 4}{\mu\,\pi\, D_{2.1}}\left(\bar{v}\,\pi(D_1/2)^2\right), \frac{\varepsilon}{D_{2.1}}\right) =$$
$$= \phi_{2.1}\left(\frac{\rho\, 4}{\mu\,\pi\, D_{2.1}}\left(\left(\frac{Re_1\,\mu}{\rho\, D_1}\right)\frac{\pi\, D_1^2}{4}\right), \frac{\varepsilon}{D_{2.1}}\right) =$$
$$= \phi_{2.1}\left(\frac{Re_1\, D_1}{D_{2.1}}, \frac{\varepsilon}{D_{2.1}}\right) \cong \phi_{2.1}\left(\frac{10^6 * 0.15}{0.2}, \frac{0.005 * 10^{-3}}{0.2}\right) \cong$$
$$\cong \phi_{2.1}\left(7.5\ \mathrm{E}\,5, 2.5\ \mathrm{E}\,{-5}\right) \cong 0.00149$$

$$\phi_{2.2}\left(\frac{Re_1\, D_1}{D_{2.2}}, \frac{\varepsilon}{D_{2.2}}\right) \cong \phi_{2.2}\left(\frac{10^6 * 0.15}{0.1}, \frac{0.005 * 10^{-3}}{0.1}\right) =$$
$$= \phi_{2.2}\left(1.5 * 10^5, 5 * 10^{-5}\right) \cong 0.0020$$

$$\therefore W_{b.2} \cong$$
$$\cong \left(\frac{0.00149 * 70}{0.2^5} + \frac{0.0020 * 50}{0.1^5}\right) \left(10^6 * 0.5 * 10^{-3} * 0.15\right)^3 \frac{\pi}{700^2} =$$
$$= \left(\frac{1.49 * 70}{2^5} * 10^2 + 10^4\right) (5 * 15)^3 \frac{\pi}{700^2} \cong 27.93\,\mathrm{E3} >$$
$$> W_{b.1} = -\mathit{\Delta} P_{b.1}\, G_v = -\mathit{\Delta} P_{b.1} \frac{Re_1\, \mu\, \pi\, D_1}{\rho\, 4} \cong$$
$$\cong 350 * 10^3 \frac{10^6 * 0.005 * 10^{-3} * \pi * 0.15}{700 * 4} \cong 294.52$$

$\therefore$ É necessário uma bomba mais forte

Questão 4 – 2

Uma bomba desenvolve uma pressão de 800 $\mathrm{kN\,m^{-2}}$ e bombeia água por um tubo de 300 m (diâmetro $= 1.5\,\mathrm{dm}$) de um reservatório à pressão atmosférica para um reservatório 60 m acima, também à pressão atmosférica. Com as válvulas completamente abertas o caudal é 0.05 $\mathrm{m^3\,s^{-1}}$. Devido à corrosão e às incrustações, a rugosidade efectiva do tubo aumenta 10 vezes. De que percentagem diminui o caudal? Despreze a variação de energia cinética.

- $\mathit{\Delta} P_b = 800\,\mathrm{kN\,m^{-2}}$
- $L = 300\,\mathrm{m}$
- $D = 1.5\,\mathrm{dm}$
- $Z_2 = 60\,\mathrm{m}$
- $G_{v.0} = 0.05\,\mathrm{m^3\,s^{-1}}$
- $\varepsilon = 10\,\varepsilon_0$
- $\mu = 1\ \mathrm{E{-}3}\,\mathrm{kg\,m^{-1}\,s^{-1}}$
- $\rho = 1000\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$

RS

$$\frac{G_{v.1}}{G_{v.0}} = G_{v.0}^{-1}\,\bar{v}_1\,\pi\,(D/2)^2 = \frac{\pi\,D^2}{G_{v.0}\,4}\left(\frac{Re_1\,\mu}{D\,\rho}\right);$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_0\,(\phi, Re) &= \varepsilon_0\left(\frac{-\mathit{\Delta} P_{at}\,D}{4\,L\,v^2\,\rho}, \frac{\bar{v}\,D\,\rho}{\mu}\right) = \\
&= \varepsilon_0\left(\frac{h_{at}\,\rho\,g\,D}{4\,L\,\rho}\left(\frac{G_v}{\pi\,(D/2)^2}\right)^{-2}, \frac{D\,\rho}{\mu}\frac{G_v}{\pi\,(D/2)^2}\right) = \\
&= \varepsilon_0\left(\frac{(h_b - Z_2)\,g\,\pi^2\,D^5}{L\,G_v^2\,64}, \frac{\rho\,G_v\,4}{\mu\,\pi\,D}\right) = \\
&= \varepsilon_0\left(\frac{\left(\frac{-\mathit{\Delta} P_b}{\rho\,g} - Z_2\right)\,g\,\pi^2\,D^5}{L\,G_v^2\,64}, \frac{\rho\,G_v\,4}{\mu\,\pi\,D}\right) = \\
&= \varepsilon_0\left(\frac{(-\mathit{\Delta} P_b - Z_2\,\rho\,g)\,\pi^2\,D^5}{L\,G_v^2\,64\,\rho}, \frac{\rho\,G_v\,4}{\mu\,\pi\,D}\right) = \\
&= \varepsilon_0\left(\frac{(800 * 10^3 + 60 * 10^3 * 9.78)\ \pi^2 * 0.15^5}{300 * 10^3 * 0.005^2 * 64 * 10^3}, \frac{10^3 * 0.05 * 4}{10^{-3} * \pi * 0.15}\right) = \\
&= \varepsilon_0\left(\frac{(80 + 6 * 9.78)\ \pi^2 * 0.15^5}{3 * 5^2 * 64} * 10^2, \frac{10^6 * 4}{\pi * 3}\right) = \\
&= \varepsilon_0\,(2.17\,\mathrm{E}{-3}, 424.41\,\mathrm{E3}) \cong 0.00059 * 0.15 = 8.85 * 10^{-5}
\end{aligned}$$

$$
\begin{aligned}
Re_1\left(\phi_1\, Re_1^2, \varepsilon_1/D\right) &= Re_1\left(\left(\frac{-\Delta P_{at}\, D}{4\, L_{eq}\, v_1^2\, \rho}\right)\left(\frac{\bar{v}_1\, D\, \rho}{\mu}\right)^2, \frac{10\,\varepsilon_0}{D}\right) = \\
&= Re\left(\frac{-\Delta P_{at}\, D^3\, \rho}{4\, L_{eq}\, \mu^2}, \frac{10\,\varepsilon_0}{D}\right) = Re\left(h_{at}\, \rho\, g \frac{D^3\, \rho}{4\, L_{eq}\, \mu^2}, \frac{\varepsilon}{D}\right) = \\
&= Re\left((h_b - Z_2)\frac{D^3\, \rho^2\, g}{4\, L_{eq}\, \mu^2}, \frac{\varepsilon}{D}\right) = Re\left(\left(\frac{-\Delta P_b}{\rho\, g} - Z_2\right)\frac{D^3\, \rho^2\, g}{4\, L_{eq}\, \mu^2}, \frac{\varepsilon}{D}\right) = \\
&= Re\left((-\Delta P_b - Z_2\, \rho\, g)\, \frac{D^3\, \rho}{4\, L_{eq}\, \mu^2}, \frac{\varepsilon}{D}\right) = \\
&= Re\left((800 * 10^3 - 60 * 10^3 * 9.78)\, \frac{(0.15)^3\, 10^3}{4 * 300 * (10^{-3})^2}, \frac{10\varepsilon_0}{0.15}\right) = \\
&= Re\left((800 - 60 * 9.78)\, \frac{(0.15)^3}{4 * 300} * 10^{12}, \frac{10\varepsilon_0}{0.15}\right)
\end{aligned}
$$

Questão 4 – 3

Pretende-se construir um permutador de calor com um certo número de tubos, todos com 25 mm de diâmetro e 5 m de comprimento, dispostos em paralelo. O permutador será utilizado como arrefecedor, com uma capacidade de 5 MW e o aumento de temperatura na água de alimentação deve ser de 20 K. Sabendo que a queda de pressão nos tubos não deve exceder $2\,\mathrm{kN\,m^{-2}}$, calcular o número mínimo de tubos a instalar. Supor que os tubos são lisos.

Dados

$\mu = 1\,\mathrm{mN\,s\,m^{-2}}$

$\rho = 1000\,\mathrm{kg\,m^{-1}}$

$C_p(\mathrm{H_2O}) = 4.18\ \mathrm{E}\,3\,\mathrm{J\,kg^{-1}\,K^{-1}}$

Questão 4 – 4

Calcular o diâmetro hidráulico médio (d_{hm}) do espaço anelar entre um tubo de 4 cm e outro de 5 cm.

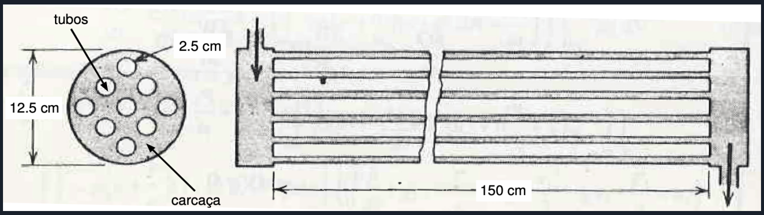
$$d_{hm} = 4 \, \frac{\textbf{sessão reta}}{\textbf{perímetro molhado}}$$

Questão 4 – 5

Um permutador de calor de caixa e tubos tem uma secção recta conforme se representa na figura seguinte. O permutador consiste em 9 tubos com diâmetro de 2.5 cm inseridos dentro de uma conduta circular com um diâmetro de 12.5 cm. O permutador tem um comprimento de 1.5 m. No lado da caixa circula água, e no interior dos tubos circula um termofluído.

água $\rho = 1000\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$ $\mu = 1\ \mathrm{E{-}3\,kg\,m^{-1}\,s^{-1}}$

termofluído $\rho = 8000\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$ $\mu = 5\ \mathrm{E{-}3\,kg\,m^{-1}\,s^{-1}}$



Q4 – 5 a)

Calcule a queda de pressão ($-\mathit{\Delta} P_{at}$) no lado da caixa quando o caudal de água em circulação nessa zona é $G_v = 0.825\,\mathrm{m^3 min^{-1}}$. Suponha que tanto a parede exterior dos tubos como a parede interna da caixa têm superfícies lisas. Para efeitos de cálculo use o diâmetro hidráulico médio d_{hm}:

$$d_{hm} = 4\,\frac{\text{sessão reta}}{\text{perímetro molhado}}$$

Q4 – 5 b)

Calcule o caudal de termofluído em circulação no interior dos tubos quando a queda de pressão no interior dos tubos é ($-\mathit{\Delta} P_{at} = 6\,\mathrm{kPa}$) . A rugosidade da superfície interior dos tubos é 0.2 mm.