

Задача №2

Масло марки МК, протекая через бак с расходом $G_2=0,12$ кг/с, нагревается в нём от температуры $t'_{ж2}=34$ оС до температуры $t''_{ж2}=69$ оС. Греющим теплоносителем является сухой насыщенный водяной пар, конденсирующийся в горизонтальных змеевиках при давлении $P_1=2,1$ бар, смонтированных внутри бака. Для снижения тепловых потерь бак покрыт слоем тепловой изоляции. Требуется определить величину поверхности змеевиков F_1 , m^2 , и расход греющего пара G_1 , кг/с. Для расчёта заданы следующие величины:

1. Коэффициент теплоотдачи от пара к внутренней стенке

поверхности змеевиков $\alpha_1 = 4200$ Вт/(м² К);

2. Коэффициент теплоотдачи от наружной стенки

поверхности змеевиков к маслу $\alpha_2 = 116$ Вт/(м² К);

3. Коэффициент теплоотдачи от масла к стенкам бака $\alpha_3 = 43$ Вт/(м² К);

4. Коэффициент теплоотдачи от изоляции бака к воздуху $\alpha_4 = 7$ Вт/(м² К);

5. Температура окружающего воздуха $t_{ж3} = -13$ оС;

6. Толщина стенки бака $\delta_1 = 4$ мм;

7. Толщина изоляции бака $\delta_2 = 20$ мм;

8. Поверхность бака $F_2 = 5$ м².

Бак изготовлен из стали с теплопроводностью $\lambda(t) = 54.6 - 0.0422Pt$ Вт/(мК), для тепловой изоляции использован (а) Совелит. Тепловые потери определить как для постоянной теплопроводности материалов, так и с учетом её зависимости от температуры.

Термическим сопротивлением стенки змеевиков пренебречь, изменением внешней поверхности бака из-за его изоляции пренебречь, применить формулы для теплопередачи через плоскую стенку.

Заданные параметры (задается пользователем)

$$G_2 := 0.12 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad t'_{ж2} := 34 \text{ } ^\circ\text{С} \quad t''_{ж2} := 69 \text{ } ^\circ\text{С} \quad p_1 := 2.1 \text{ бар} \quad \alpha_1 := 4200 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ К}}$$

$$\alpha_2 := 116 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ К}} \quad \alpha_3 := 43 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ К}} \quad \alpha_4 := 7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ К}} \quad t_{ж3} := -13 \text{ } ^\circ\text{С} \quad \delta_1 := 4 \text{ мм}$$

$$\delta_2 := 20 \text{ мм} \quad F_2 := 5 \text{ м}^2$$

$$\lambda(\Delta t) := (54.6 - 0.0422 \cdot \Delta t) \frac{\text{Вт}}{\text{м К}} \quad t_{cp} := \frac{t'_{ж2} + t''_{ж2}}{2} = 324.6 \text{ К}$$

$$\lambda_{из1} := 0.090 \frac{\text{Вт}}{\text{м К}}$$

$$\lambda_{из2}(\Delta t) := (0.090 + 0.000087 \cdot \Delta t) \frac{\text{Вт}}{\text{м К}}$$

Решение:

Интерполируем значения для масла МК:

$$c' := \text{linterp}\left(\left[\begin{array}{c} 30 \\ 40 \end{array}\right], \left[\begin{array}{c} 1.758 \\ 1.804 \end{array}\right], 34\right) = 1.776 \quad c'' := \text{linterp}\left(\left[\begin{array}{c} 60 \\ 70 \end{array}\right], \left[\begin{array}{c} 1.897 \\ 1.943 \end{array}\right], 69\right) = 1.938$$

$$c' := 1.776 \frac{\text{кДж}}{\text{кг К}}$$

$$c'' := 1.938 \frac{\text{кДж}}{\text{кг К}}$$

Находим значения энтальпии:

$$h' := c' \cdot t'_{ж2} = 5.455 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \quad h'' := c'' \cdot t''_{ж2} = 6.631 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Найдем теплоемкость парообразования с помощью CoolProp Wrapper

Для этого сначала надем h' и h'' (Используем формуляцию 1997 года)

$$h'_{\text{п}} := \text{CoolProp_Props}\left(\text{"H"}, \text{"P"}, p_1, \text{"Q"}, 0, \text{"IF97::Water"}\right) = 511.3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$h''_{\text{п}} := \text{CoolProp_Props}\left(\text{"H"}, \text{"P"}, p_1, \text{"Q"}, 1, \text{"IF97::Water"}\right) = 2708 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Рассчитываем r

$$r := h''_{\text{п}} - h'_{\text{п}} = 2197 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Теперь рассчитаем расход пара:

$$\text{Assign}\left(\text{Solve}\left(G_2 \cdot (h'' - h') = G_1 \cdot r, G_1\right)\right) = 0.006422 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

$$G_1 = 0.006422 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

С помощью WaterSteamPro найдем значение температуры внутри змеевика. Она должна соответствовать температуре насыщения для давления p_1 .

$$t_s := \text{wspTSP}(p_1) = 121.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Находим значение λ для стали:

$$\lambda_{\text{ст}}(\Delta t_1) := \left(54.6 - 0.0422 \cdot \frac{\Delta t_1}{^\circ\text{C}}\right) \frac{\text{Вт}}{\text{м К}}$$

$$\Delta t_1 := \frac{t_s + t_{\text{ср}}}{2} = 86.63 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\lambda_{\text{ст}}(\Delta t_1) = 50.94 \frac{\text{Вт}}{\text{м К}}$$

Находим значение λ для изоляции:

$$\lambda_{\text{из2}}(\Delta t_2) := \left(0.090 + 0.000087 \cdot \Delta t_2\right) \frac{\text{Вт}}{\text{м К}}$$

$$\Delta t_2 := \frac{t_{\text{ж3}} + t_{\text{ср}}}{2} = 19.25 \text{ К}$$

$$\lambda_{\text{из2}}(\Delta t_2) := \left(0.090 + 0.000087 \cdot \frac{\Delta t_2}{^\circ\text{C}}\right) \frac{\text{Вт}}{\text{м К}} = 0.06791 \frac{\text{Вт}}{\text{м К}}$$

Находим значение плотности теплового потока для бака:

$$q_6 := \frac{t_{\text{ср}} - t_{\text{ж3}}}{\frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_1}{\lambda_{\text{ст}}(\Delta t_1)} + \frac{\delta_2}{\lambda_{\text{из2}}(\Delta t_2)} + \frac{1}{\alpha_4}} = 1.326 \frac{\text{кВт}}{(\text{м})^2}$$

Потери теплоты в окр. среду

$$Q_{\text{пот}} := q_6 \cdot F_2 = 6.629 \text{ кВт}$$

Найдем кол. теплоты выделенной паром при конденсации

$$Q := G_1 \cdot r = 14.11 \text{ кВт}$$

Кол. теплоты с учетом потерь в окружающую среду:

$$Q_o := Q - Q_{\text{пот}} = 7.481 \text{ кВт}$$

Найдем плотность теплового потока от змеевика к маслу:

$$q_{\text{зм}} := \frac{t_s - t_{\text{cp}}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} = 7.931 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$$

Находим площадь змеевика:

$$\text{Assign}\left(\text{Solve}\left(Q_o = q_{\text{зм}} \cdot F_1, F_1\right)\right) = 0.9433 \text{ м}^2$$

$$F_1 = 0.9433 \text{ м}^2$$