

Задача 2.

Масло марки мк, протекая через бак с расходом 0,16 кг/с, нагревается в нём от температуры 35°C до температуры 80°C. Греющим теплоносителем является водяной пар, имеющий начальную степень сухости 0,9, который конденсируется в горизонтальных змеевиках до степени сухости 0,2 при давлении $P = 6$ 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: коэффициент теплоотдачи от пара к внутренней стенке поверхности змеевиков 7500 Вт/($m^2 K$); коэффициент теплоотдачи от наружной стенки поверхности змеевиков к маслу 117 Вт/($m^2 K$); коэффициент теплоотдачи от масла к стенкам бака 50 Вт/($m^2 K$); коэффициент теплоотдачи от изоляции бака к воздуху 15 Вт/($m^2 K$); температура окружающего воздуха 10°C; толщина стенки бака 6 мм; толщина изоляции бака 15 мм; поверхность бака 10 m^2 . Бак изготовлен из стали марки 15, для тепловой изоляции использован(а) миканит. **Тепловые потери определить как при постоянной теплопроводности изоляции, используя температуру окружающего воздуха, так и с учетом её зависимости от температуры. Сравнить результаты.**

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

Введем исходные данные(про вещества):

Масло МК, теплоноситель- водяной пар, сталь-15

Расход масла G_2 (kg/s); Температура масла начальная t_{m1} и конечная t_{m2} (°C); начальная и конечная степени сухости водяного пара X_1 и X_2 соответственно; давление в змеевиках P (МПа); коэффициент теплоотдачи от пара к внутренней стенке поверхности змеевиков $\alpha_1(W / m^2 K)$; коэффициент теплоотдачи от наружной стенки поверхности змеевиков к маслу $\alpha_2(W / m^2 K)$; коэффициент теплоотдачи от масла к стенкам бака $\alpha_3(W / m^2 K)$; коэффициент теплоотдачи от изоляции бака к воздуху $\alpha_4(W / m^2 K)$; температура окружающего воздуха $t_{Air}(°C)$; толщина стенки бака $\delta(m)$; толщина изоляции стенки бака $\delta_{Isolation}(m)$; площадь поверхности бака $F_{surf} (m^2)$.

Изоляция- миканит:

Миканит	2000...2200	0.21...0.41	Коэффициент теплопроводности изоляции как функция от температуры: $\lambda_{Isolation}(t)=0.0766 + 0.00667t \ (W / m K)$
---------	-------------	-------------	--

Коэффициент теплопроводности стали-15 как функция от температуры $\lambda_{Steel}=58.7 - 0.0423t \ (W / m K)$

```

G2 = 0.16;
tm1 = 35;
tm2 = 80;
X1 = 0.9;
X2 = 0.2;
P = 6;
α1 = 7500;
α2 = 117;
α3 = 50;
α4 = 15;
tAir = 10;
δ = 0.006;
δIsolation = 0.15;
Fsurf = 10;

```

In[211]:=

```
λIsolation[t_] := 0.0766 + 0.00667 * t; Clear[λSteel]; λSteel[t_] := 58.7 - 0.0423 * t;
```

ОЧИСТИТЬ

Найдем удельную теплоемкость $c_{pm}\left(\frac{J}{kg \cdot K}\right)$ масла МК из значения его средней температуры $tmAverage$ (°C). Воспользуемся таблицей П.9 задачника по тепломассообмену Цветкова и Керимова

In[207]:=

```
tmAverage = (tm1 + tm2) / 2 // N
```

Численно

Out[207]:=

57.5

In[212]:=

```
cpm = 1875;
```

Найдем температуру t_{Vapor} (°C) и удельную теплоту парообразования водяного пара $r\left(\frac{kJ}{kg}\right)$ при $P=6$ МПа. Воспользуемся NIST REFPROP 10.0

2: water: Saturation points (at equilibrium)

	Temperature (K)	Pressure (MPa)	Liquid Density (kg/m ³)	Vapor Density (kg/m ³)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
1	548.73	6.0000	758.00	30.818	1213.9	2784.6	3.0278	5.8901

Отсюда t_{Vapor} в градусах Цельсия:

In[213]:=

```
tVapor = 548.73 - 273.15
```

Out[213]:=

275.58

$r = h_{Vapor} - h_{Liquid}$, где h -удельная энтальпия

In[214]:=

```
r = 2784.6 - 1213.9
```

Out[214]:=

1570.7

Найдем тепловой поток создаваемый маслом $Q_m(W)$:

In[215]:=

```
Qm = G2 * cpm * (tm2 - tm1)
```

Out[215]:=

13 500.

Запишем плотность теплового потока через стенки бака всеми возможными вариантами и

найдем температуры стенок и саму плотность теплового потока $q(W / m^2)$

$$q = \frac{\frac{tw2 - tw3}{\delta_{\text{Isolation}}}}{\frac{\lambda_{\text{Isolation}} \left(\frac{tw2 + tw3}{2} \right)}} = \frac{tw1 - tw2}{\delta} = \alpha3 (tm_{\text{Average}} - tw1) = \alpha4 (tw3 - t_{\text{Air}}), \text{ где } tw1 - \text{температура 1-ой стенки (}^\circ\text{C)},$$

$tw2$ - второй($^\circ\text{C}$), $tw3$ - третьей($^\circ\text{C}$).

In[218]:=

```
{tw1, tw2, tw3, q} = Last[NSolveValues[
  (* значения для численного приближения решения уравнений *)
  {qBUFFER ==  $\frac{tw2_{\text{BUFFER}} - tw3_{\text{BUFFER}}}{\frac{\delta_{\text{Isolation}}}{\lambda_{\text{Isolation}} \left[ \frac{tw2 + tw3}{2} \right]}}$ , qBUFFER ==  $\frac{tw1_{\text{BUFFER}} - tw2_{\text{BUFFER}}}{\frac{\delta}{\lambda_{\text{Steel}} \left[ \frac{tw1 + tw2}{2} \right]}}$ , qBUFFER ==  $\alpha3 * (tm_{\text{Average}} - tw1_{\text{BUFFER}})$ ,
  qBUFFER ==  $\alpha4 * (tw3_{\text{BUFFER}} - t_{\text{Air}})$ }, {tw1_{\text{BUFFER}}, tw2_{\text{BUFFER}}, tw3_{\text{BUFFER}}, q_{\text{BUFFER}}}] ]
```

Out[218]=

```
{55.813375, 55.804394, 15.622082, 84.331234}
```

Найдем тепловые потери через стенки бака: $Q_{\text{lost}}(W)$:

In[219]:=

```
Qlost = q * Fsurf
```

Out[219]=

```
843.31234
```

Найдем тепло которое получается от теплоносителя: $Q_{\text{received}}(W)$

In[220]:=

```
Qreceived = Qlost + Qm
```

Out[220]=

```
14343.312
```

В избранном процессе(а в теплообменниках он таким и является) удельная теплота получаемая от водяного пара в трубе равна разности энтальпий $q_{\text{Vapor}} = h1 - h2$, где $h1$ соответствует энтальпии при степени сухости $X1$, а $h2$ степени сухости $X2$.

Через REFPROP находим значение энтальпии влажного пара при $P = 6 \text{ MPa}$ liquid enthalpy (kJ/kg)

	Temperature (K)	Pressure (MPa)	Liquid Density (kg/mi)	Vapor Density (kg/mi)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)	
1	548.73	6.0000	758.00	30.818	1213.9	2784.6	3.0278	5.8901	

In[221]:=

```
hOnePrime = 1213.9;
```

Энтальпия $h1$ (kJ/kg) при степени сухости $X1$

In[222]:=

```
h1 = hOnePrime + X1 * r
```

Out[222]=

```
2627.53
```

Энтальпия $h2$ (kJ/kg) при степени сухости $X2$

In[223]:=

```
h2 = hOnePrime + X2 * r
```

Out[223]=

```
1528.04
```

Удельная теплота получаемая от водяного пара в трубе $q_{\text{Vapor}}(\text{J/kg})$

In[224]:=

$$q_{\text{Vapor}} = (h1 - h2) * 10^3$$

Out[224]=

$$1.09949 \times 10^6$$

Найдем расход теплоносителя(водяного пара) $G1(\text{kg/s})$

In[225]:=

$$G1 = \frac{Q_{\text{received}}}{q_{\text{Vapor}}}$$

Out[225]=

$$0.013045423$$

Найдем плотность теплового потока через змеевик $q_{\text{Snake}}(\text{W} / \text{m}^2)$

In[226]:=

$$q_{\text{Snake}} = \frac{(t_{\text{Vapor}} - t_{\text{mAverage}})}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Out[226]=

$$25123.434$$

Найдем площадь поверхности змеевика $F_{\text{snake}}(\text{m}^2)$

In[227]:=

$$F_{\text{snake}} = \frac{Q_{\text{received}}}{q_{\text{Snake}}}$$

Out[227]=

$$0.57091368$$

Теперь мы проведем те же самые расчеты,но положим $\lambda_{\text{Isolation-const}}(\text{W} / \text{m}^2 \text{K})$, а не как функцию от температуры

In[228]:=

$$\lambda_{\text{IsolationConst}} = \lambda_{\text{Isolation}}[0]$$

Out[228]=

$$0.0766$$

Так же решим систему из четырех уравнений для поиска температур стенок и плотности теплового потока:

In[230]:=

$$\text{NSolve}\left[\left\{q_{\text{Secondary}} == \frac{tw2_{\text{Secondary}} - tw3_{\text{Secondary}}}{\frac{\delta_{\text{Isolation}}}{\lambda_{\text{IsolationConst}}}}, q_{\text{Secondary}} == \frac{tw1_{\text{Secondary}} - tw2_{\text{Secondary}}}{\frac{\delta}{\lambda_{\text{Steel}}\left[\frac{tw1_{\text{Secondary}} + tw2_{\text{Secondary}}}{2}\right]}}\right\},\right.$$

численное решение уравнений

$$\left. \right]$$

$$q_{\text{Secondary}} == \alpha_3 * (t_{\text{mAverage}} - tw1_{\text{Secondary}}), q_{\text{Secondary}} == \alpha_4 * (tw3 - t_{\text{Air}})\},$$

$$\{tw1_{\text{Secondary}}, tw2_{\text{Secondary}}, tw3_{\text{Secondary}}, q_{\text{Secondary}}\}];$$

$$\{55.893375, 55.876322, 15.63511, 84.341234\};$$

In[231]:=

$$\{tw1_{\text{Secondary}}, tw2_{\text{Secondary}}, tw3_{\text{Secondary}}, q_{\text{Secondary}}\} = \{55.893375, 55.876322, 15.63511, 84.341234\};$$

Найдем тепловые потери через стенки бака: $Q_{\text{lostSecondary}}(\text{W})$:

In[232]:=

$$Q_{\text{lostSecondary}} = q_{\text{Secondary}} * F_{\text{surf}}$$

Out[232]=

$$843.41234$$

Найдем тепло которое получается от теплоносителя: $Q_{receivedSecondary}(W)$

In[233]:=

$$Q_{receivedSecondary} = Q_{lostSecondary} + Q_m$$

Out[233]=

14 343.412

Расход теплоносителя $G1Secondary(kg/s)$:

In[234]:=

$$G1Secondary = \frac{Q_{receivedSecondary}}{q_{Vapor}}$$

Out[234]=

0.013045514

Плотность теплового потока через змеевик $q_{SnakeSecondary}(W / m^2)$

In[235]:=

$$q_{SnakeSecondary} = \frac{(t_{Vapor} - t_{mAverage})}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Out[235]=

25 123.434

Найдем площадь поверхности змеевика $F_{snakeSecondary}(m^2)$

In[236]:=

$$F_{snakeSecondary} = \frac{Q_{receivedSecondary}}{q_{SnakeSecondary}}$$

Out[236]=

0.57091766

Найдем отличия двух способов решения: $\lambda_{isolation} - const$ и $\lambda_{isolation}=f(t)$:

Сравним теплотери через стенки бака,расходы теплоносителя и площади поверхности змеевика и найдем абсолютные/относительные погрешности

In[237]:=

$$\Delta Q_{lost} = \text{Abs}[Q_{lost} - Q_{lostSecondary}]$$

| абсолютное значение

Out[237]=

0.099999554

In[238]:=

$$\delta Q_{lost} = \frac{\Delta Q_{lost}}{Q_{lost}}$$

Out[238]=

0.0001185795

In[239]:=

$$\Delta G1 = \text{Abs}[G1 - G1Secondary]$$

| абсолютное значение

Out[239]=

9.0950854×10^{-8}

In[240]:=

$$\Delta G1 = \frac{\Delta G1}{G1}$$

Out[240]=

6.9718592×10^{-6}

In[241]:=

$$\Delta F_{snake} = \text{Abs}[F_{snake} - F_{snakeSecondary}]$$

| абсолютное значение

Out[241]=

3.9803298×10^{-6}

