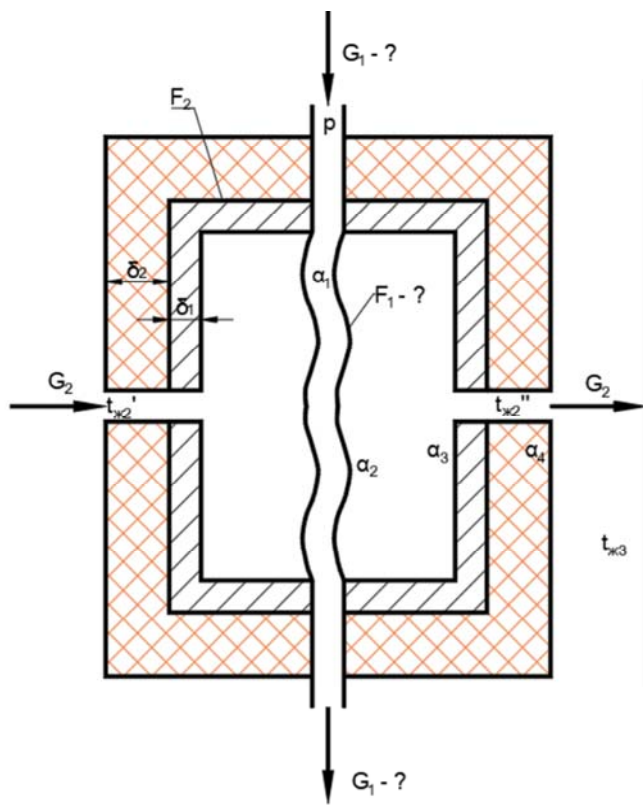


**Задача 2.**

Масло марки мс-20, протекая через бак с расходом 0,2 кг/с, нагревается в нём от температуры 20°C до температуры 50°C. Греющим теплоносителем является водяной пар, имеющий начальную степень сухости 0,8, который конденсируется в горизонтальных змеевиках до степени сухости 0 при давлении  $P = 4$  мпа, 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 7000 Вт/( $m^2$  K); коэффициент теплоотдачи от наружной стенки поверхности змеевиков к маслу 110 Вт/( $m^2$  K); коэффициент теплоотдачи от масла к стенкам бака 88 Вт/( $m^2$  K); коэффициент теплоотдачи от изоляции бака к воздуху 10 Вт/( $m^2$  K); температура окружающего воздуха 18°C; толщина стенки бака 6 мм; толщина изоляции бака 20 см; поверхность бака 10  $m^2$ . Бак изготовлен из стали марки 30, для тепловой изоляции использован(а) диатомит молотый. **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.

Рисунок:  $F_1$ -неизвестная величина площади поверхности змеевиков ( в расчетах участвует как  $F_{snake}$ ).  $G_1$ -неизвестный расход теплоносителя(водяного пара)



Введем исходные данные(про вещества):

Масло МС-20, теплоноситель- водяной пар, сталь-30

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  $P$

2 | №2АЭ.nb

(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  $t_{Air}(^{\circ}C)$ ; толщина стенки бака  $\delta(m)$ ; толщина изоляции стенки бака  $\delta_{Isolation}(m)$ ; площадь поверхности бака  $F_{surf}$ (на рисунке F2) ( $m^2$ ).  
Изоляция- диатомит молотый:

Диатомит молотый | 450 | 0,091+0,00028 · T Коэффициент теплопроводности изоляции как функция от температуры:  $\lambda_{Isolation}(t)=0.091 + 0.00028t$  ( $W / m K$ )

Коэффициент теплопроводности стали-30 как функция от температуры  $\lambda_{Steel}=54.6 - 0.0422t$  ( $W / m K$ )

```
In[70]:= G2 = 0.2;
tm1 = 20;
tm2 = 50;
X1 = 0.9;
X2 = 0.8;
P = 4;
α1 = 7000;
α2 = 110;
α3 = 88;
α4 = 10;
tAir = 18;
δ = 0.006;
δIsolation = 0.2;
Fsurf = 10;

In[71]:= λIsolation[t_] := 0.0766 + 0.00667 * t; λSteel[t_] := 54.6 - 0.0422 * t;
```

Найдем удельную теплоемкость  $c_{pm}(\frac{J}{kg \cdot K})$  масла МС-20 из значения его средней температуры  $tm_{Average}(^{\circ}C)$ . Воспользуемся таблицей П.10 задачника по тепломассообмену Цветкова и Керимова

```
In[72]:= tmAverage = (tm1 + tm2) / 2
```

35

```
In[73]:= cpm = 2089;
```

Найдем температуру  $t_{Vapor}(^{\circ}C)$ и удельную теплоту парообразования водяного пара  $r(\frac{kJ}{kg})$  при  $P=4$  МПа. Воспользуемся NIST REFPROP 10.0

	Temperature (K)	Pressure (MPa)	Liquid Density (kg/m <sup>3</sup> )	Vapor Density (kg/m <sup>3</sup> )	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg·K)	Vapor Entropy (kJ/kg·K)
1	523.50	4.0000	798.37	20.090	1087.5	2800.8	2.7968	6.0696
2								

Отсюда  $t_{Vapor}$  в градусах Цельсия:

```
In[74]:= tVapor = 523.5 - 273.15
```

250.35

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

In[75]:=  $r = 2800.8 - 1087.5$

Out[75]=  
1713.3

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

In[76]:=  $Q_m = G_2 * c_{pm} * (tm_2 - tm_1)$

Out[76]=  
12534.

Запишем плотность теплового потока через стенки бака всеми возможными вариантами и найдем температуры стенок и саму плотность теплового потока  $q(W / m^2)$

$q = \frac{tw_2 - tw_3}{\frac{\delta_{\text{Isolation}}}{\lambda_{\text{Isolation}}(\frac{tw_2 + tw_3}{2})}} = \frac{tw_1 - tw_2}{\frac{\delta}{\lambda_{\text{Steel}}(\frac{tw_1 + tw_2}{2})}} = \alpha_3(tm_{\text{Average}} - tw_1) = \alpha_4(tw_3 - t_{\text{Air}})$ , где  $tw_1$ -температура 1-ой стенки(°C)

,  $tw_2$ - второй(°C),  $tw_3$ - третьей(°C).

In[77]:=  $\text{Last}[\text{NSolve}[\text{пос... численное решение уравнений}$

$$\left\{ q == \frac{tw_2 - tw_3}{\frac{\delta_{\text{Isolation}}}{\lambda_{\text{Isolation}}\left[\frac{tw_2 + tw_3}{2}\right]}}, q == \frac{tw_1 - tw_2}{\frac{\delta}{\lambda_{\text{Steel}}\left[\frac{tw_1 + tw_2}{2}\right]}}, q == \alpha_3 * (tm_{\text{Average}} - tw_1), q == \alpha_4 * (tw_3 - t_{\text{Air}}) \right\}, \{tw_1, tw_2, tw_3, q\} \right]$$

Out[77]=  
{tw1 → 34.781363, tw2 → 34.77919, tw3 → 19.924007, q → 19.240073}

In[78]:=  $tw_1 = 73.403222$ ;  $tw_2 = 73.393921$ ;  $tw_3 = 26.709697$ ;  $q = 95.806664$ ;

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

In[79]:=  $Q_{\text{lost}} = q * F_{\text{surf}}$

Out[79]=  
958.06664

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

In[80]:=  $Q_{\text{received}} = Q_{\text{lost}} + Q_m$

Out[80]=  
13492.067

В избранном процессе(а в теплообменниках он таким и является) удельная теплота получаемая от водяного пара в трубе равна разности энтальпий  $q_{\text{Vapor}} = h_1 - h_2$ , где  $h_1$  соответствует энтальпии при степени сухости  $X_1$ , а  $h_2$  степени сухости  $X_2$ .

Через REFPROP находим значение энтальпии влажного пара при  $P=4\text{MPa}$  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	523.50	4.0000	798.37	20.090	1087.5	2800.8	2.7968	6.0696
2								

$h_{\text{OnePrime}} = 1087.5$ ;

Энтальпия  $h_1$  (kJ/kg) при степени сухости  $X_1$

In[82]:=  $h_1 = h_{\text{OnePrime}} + X_1 * r$

Out[82]=  
2755.87

Энтальпия  $h_2$  (kJ/kg) при степени сухости  $X_2$

```
In[83]:= h2 = h0nePrime + X2 * r
```

```
Out[83]= 2584.54
```

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

```
In[84]:= qVapor = (h1 - h2) * 10^3
```

```
Out[84]= 171 330.
```

Найдем расход теплоносителя(водяного пара)  $G_1$  (kg/s)

```
In[85]:= G1 =  $\frac{Q_{\text{received}}}{q_{\text{Vapor}}}$ 
```

```
Out[85]= 0.078749003
```

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

```
In[86]:= qSnake =  $\frac{(t_{\text{Vapor}} - t_{\text{mAverage}})}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}}$ 
```

```
Out[86]= 23 322.011
```

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

```
In[87]:= Fsnake =  $\frac{Q_{\text{received}}}{q_{\text{Snake}}}$ 
```

```
Out[87]= 0.57851214
```

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

```
In[88]:=  $\lambda_{\text{IsolationConst}} = \lambda_{\text{Isolation}}[0]$ 
```

```
Out[88]= 0.0766
```

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

```
In[89]:= NSolve[ $\left\{ \begin{aligned} q_{\text{Secondary}} &= \frac{t_{\text{w2Secondary}} - t_{\text{w3Secondary}}}{\frac{\delta_{\text{Isolation}}}{\lambda_{\text{IsolationConst}}}}, q_{\text{Secondary}} = \frac{t_{\text{w1Secondary}} - t_{\text{w2Secondary}}}{\frac{\delta}{\lambda_{\text{Steel}} \left[ \frac{t_{\text{w1Secondary}} + t_{\text{w2Secondary}}}{2} \right]}} \end{aligned} \right\}$ ,  
Численное решение уравнений
```

```
 $q_{\text{Secondary}} = \alpha_3 * (t_{\text{mAverage}} - t_{\text{w1Secondary}}), q_{\text{Secondary}} = \alpha_4 * (t_{\text{w3}} - t_{\text{Air}}) \},$   
{tw1Secondary, tw2Secondary, tw3Secondary, qSecondary}];
```

```
{tw1Secondary → 73.40322221666666`, tw2Secondary → 73.39392106452193`, tw3Secondary → 25.4324034549055,  
qSecondary → 95.80666699999998`}
```

```
In[90]:= tw1Secondary = 73.40322221666666;  
tw2Secondary = 73.39392106452193;  
tw3Secondary = 25.4324034549055;  
qSecondary = 95.80666699999998;
```

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

In[92]:=  $Q_{lostSecondary} = q_{Secondary} * F_{surf}$

Out[92]=  
958.06667

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

In[93]:=  $Q_{receivedSecondary} = Q_{lostSecondary} + Q_m$

Out[93]=  
13 492.067

Расход теплоносителя  $G1Secondary(kg/s)$ :

In[94]:=  $G1Secondary = \frac{Q_{receivedSecondary}}{q_{Vapor}}$

Out[94]=  
0.078749003

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

In[95]:=  $q_{SnakeSecondary} = \frac{(t_{Vapor} - t_{mAverage})}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}}$

Out[95]=  
23 322.011

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

In[96]:=  $F_{snakeSecondary} = \frac{Q_{receivedSecondary}}{q_{SnakeSecondary}}$

Out[96]=  
0.57851214

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[97]:=  $\Delta Q_{lost} = Abs [Q_{lost} - Q_{lostSecondary}]$   
абсолютное значение

Out[97]=  
0.00003

In[98]:=  $\delta Q_{lost} = \frac{\Delta Q_{lost}}{Q_{lost}}$

Out[98]=  
 $3.1313062 \times 10^{-8}$

In[99]:=  $\Delta G1 = Abs [G1 - G1Secondary]$   
абсолютное значение

Out[99]=  
 $1.7510068 \times 10^{-10}$

In[100]:=  $\Delta G1 = \frac{\Delta G1}{G1}$

Out[100]=  
 $2.2235289 \times 10^{-9}$

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

абсолютное значение

Out[101]=

$$1.2863385 \times 10^{-9}$$

In[102]:=

$$\delta F = \frac{\Delta F_{snake}}{F_{snake}}$$

Out[102]=

$$2.2235289 \times 10^{-9}$$

Вывод : Отличия минимальны и погрешность включается после 4 знака после запятой( $\Delta Q_{lost}$ ) и поэтому функциональной зависимостью  $\lambda_{solation}(t)$  можно пренебречь и брать коэффициент теплопроводности  $\lambda_{solation}$  как *const*