

# Выполнение расчетного задания по дисциплине Тепломассообмен в среде Mathematica 14

Студент: Маркаров М.Г.

Группа: ТФ-13-22

## Задача № 2

### Задача 2.

Масло марки мс-20, протекая через бак с расходом 0,2 кг/с, нагревается в нём от температуры 40°C до температуры 110°C. Греющим теплоносителем является водяной пар, имеющий начальную степень сухости 0,9, который конденсируется в горизонтальных змеевиках до степени сухости 0 при давлении  $P = 6$  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 5200 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 60 Вт/( $m^2 K$ ); коэффициент теплоотдачи от изоляции бака к воздуху 11 Вт/( $m^2 K$ ); температура окружающего воздуха 18°C; толщина стенки бака 5 мм; толщина изоляции бака 20 см; поверхность бака 5  $m^2$ . Бак изготовлен из стали марки 30, 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 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  $P$  (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-30 как функция от температуры  
 $\lambda_{Steel} = 54.6 - 0.0422t$  (W / m K)

```

In[1]:= G2 = 0.2;
        tm1 = 40;
        tm2 = 110;
        X1 = 0.9;
        X2 = 0;
        P = 6;
        α1 = 5200;
        α2 = 110;
        α3 = 60;
        α4 = 11;
        tAir = 18;
        δ = 0.005;
        δIsolation = 0.2;
        Fsurf = 5;

In[2]:= λIsolation[t_] := 0.0766 + 0.00667 * t; λSteel[t_] := 54.6 - 0.0422 * t;

```

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

```

In[3]:= tmAverage =  $\frac{tm1 + tm2}{2}$ 

```

Out[3]= 75

```

In[4]:= cpm = 2212.5;

```

Найдем температуру  $tVapor$  (°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/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

Отсюда  $tVapor$  в градусах Цельсия:

```

In[5]:= tVapor = 548.73 - 273.15

```

Out[5]= 275.58

$r = hVapor - hLiquid$ , где  $h$ -удельная энтальпия

```

In[6]:= r = 2784.6 - 1213.9

```

Out[6]= 1570.7

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

```

In[7]:= Qm = G2 * cpm * (tm2 - tm1)

```

Out[7]= 30975.

Запишем плотность теплового потока через стенки бака всеми

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

$$q = \frac{tw2 - tw3}{\frac{\delta_{\text{isolation}}}{\lambda_{\text{isolation}} \left( \frac{tw2 + tw3}{2} \right)}} = \frac{tw1 - tw2}{\frac{\delta}{\lambda_{\text{Steel}} \left( \frac{tw1 + tw2}{2} \right)}} = \alpha3(tmAverage - tw1) = \alpha4(tw3 - tAir), \text{ где}$$

tw1-температура 1-ой стенки(°C), tw2- второй(°C), tw3- третьей(°C).

```
In[8]:= Last[NSolve[{q ==  $\frac{tw2 - tw3}{\frac{\delta_{\text{isolation}}}{\lambda_{\text{isolation}} \left( \frac{tw2 + tw3}{2} \right)}}$ , q ==  $\frac{tw1 - tw2}{\frac{\delta}{\lambda_{\text{Steel}} \left( \frac{tw1 + tw2}{2} \right)}}$ ,
  q ==  $\alpha3 * (tmAverage - tw1)$ , q ==  $\alpha4 * (tw3 - tAir)$ }, {tw1, tw2, tw3, q}]]
```

```
Out[8]= {tw1 → 73.403222, tw2 → 73.393921, tw3 → 26.709697, q → 95.806664}
```

```
In[9]:= tw1 = 73.403222; tw2 = 73.393921; tw3 = 26.709697; q = 95.806664;
```

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

```
In[10]:= Qlost = q * Fsurf
```

```
Out[10]= 479.03332
```

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

```
In[11]:= Qreceived = Qlost + Qm
```

```
Out[11]= 31454.033
```

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

Через REFPROP находим значение энтальпии влажного пара при P=6MPa liquid enthalpy (kJ/kg)

2: water: Saturation points (at equilibrium)									
	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[12]:= hOnePrime = 1213.9;
```

Энтальпия h1 (kJ/kg) при степени сухости X1

```
In[13]:= h1 = hOnePrime + X1 * r
```

```
Out[13]= 2627.53
```

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

```
In[14]:= h2 = hOnePrime + X2 * r
Out[14]= 1213.9
```

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

```
In[15]:= qVapor = (h1 - h2) * 10^3
Out[15]= 1.41363 * 10^6
```

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

```
In[16]:= G1 = Qreceived / qVapor
Out[16]= 0.022250542
```

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

```
In[17]:= qSnake = (tVapor - tmAverage) / (1/alpha1 + 1/alpha2)
Out[17]= 21606.734
```

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

```
In[18]:= Fsnake = Qreceived / qSnake
Out[18]= 1.4557514
```

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

```
In[19]:= lambdaIsolationConst = lambdaIsolation[0]
Out[19]= 0.0766
```

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

```
In[20]:= NSolve[
  численное решение уравнений
  {qSecondary ==  $\frac{tw2Secondary - tw3Secondary}{\frac{\delta Isolation}{\lambda IsolationConst}}$ , qSecondary ==  $\frac{tw1Secondary - tw2Secondary}{\frac{\delta}{\lambda Steel \left[ \frac{tw1Secondary + tw2Secondary}{2} \right]}}$ ,
  qSecondary ==  $\alpha 3 * (tmAverage - tw1Secondary)$ , qSecondary ==  $\alpha 4 * (tw3 - tAir)$  },
  {tw1Secondary, tw2Secondary, tw3Secondary, qSecondary}];
```

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

```
In[21]:= tw1Secondary = 73.40322221666666;
tw2Secondary = 73.39392106452193;
tw3Secondary = 25.4324034549055;
qSecondary = 95.80666699999998;
```

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

```
In[23]:= QlostSecondary = qSecondary * Fsurf
Out[23]= 479.03333
```

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

```
In[24]:= QreceivedSecondary = QlostSecondary + Qm
Out[24]= 31454.033
```

Расход теплоносителя  $G1Secondary(kg/s)$ :

```
In[25]:= G1Secondary =  $\frac{QreceivedSecondary}{qVapor}$ 
Out[25]= 0.022250542
```

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

```
In[26]:= qSnakeSecondary =  $\frac{(tVapor - tmAverage)}{\frac{1}{\alpha 1} + \frac{1}{\alpha 2}}$ 
Out[26]= 21606.734
```

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

$$\text{In}[27]:= F_{snakeSecondary} = \frac{Q_{receivedSecondary}}{q_{SnakeSecondary}}$$

Out[27]=  
1.4557514

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

$$\text{In}[28]:= \Delta Q_{lost} = \text{Abs}[Q_{lost} - Q_{lostSecondary}]$$

| абсолютное значение

Out[28]=  
0.000015

$$\text{In}[29]:= \delta Q_{lost} = \frac{\Delta Q_{lost}}{Q_{lost}}$$

Out[29]=  
 $3.1313062 \times 10^{-8}$

$$\text{In}[30]:= \Delta G_1 = \text{Abs}[G_1 - G_{1Secondary}]$$

| абсолютное значение

Out[30]=  
 $1.0610981 \times 10^{-11}$

$$\text{In}[31]:= \Delta G_1 = \frac{\Delta G_1}{G_1}$$

Out[31]=  
 $4.768864 \times 10^{-10}$

$$\text{In}[32]:= \Delta F_{snake} = \text{Abs}[F_{snake} - F_{snakeSecondary}]$$

| абсолютное значение

Out[32]=  
 $6.9422801 \times 10^{-10}$

$$\text{In}[33]:= \delta F = \frac{\Delta F_{snake}}{F_{snake}}$$

Out[33]=  
 $4.7688638 \times 10^{-10}$

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

In[34]:=