

# Выполнение расчетного задания по дисциплине Тепломассообмен в среде Mathematica 14

Студент: Зарина Азимова

Группа: ТФ-11-22

## Задача № 2

### Задача 2.

Масло марки МК, протекая через бак с расходом 0,16 кг/с, нагревается в нём от температуры 40°C до температуры 60°C. Греющим теплоносителем является водяной пар, имеющий начальную степень сухости 0,8, который конденсируется в горизонтальных змеевиках до степени сухости 0,2 при давлении  $P = 2,7$  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 5200 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 54 Вт/( $m^2 K$ ); коэффициент теплоотдачи от изоляции бака к воздуху 9 Вт/( $m^2 K$ ); температура окружающего воздуха 27°C; толщина стенки бака 5 мм; толщина изоляции бака 15 мм; поверхность бака 5  $m^2$ . Бак изготовлен из стали марки 15, 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.

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- диатомит молотый:

Диатомит молотый | 450 | 0,091+0,00028 · T , где T[°C]

Коэффициент теплопроводности изоляции как функция от температуры:  $\lambda_{Isolation}(t)=0.091 + 0.00028t (W / m K)$

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

In[203]:=

```
G2 = 0.16;  
tm1 = 40;  
tm2 = 60;  
X1 = 0.8;  
X2 = 0.2;  
P = 0.27;  
α1 = 5200;  
α2 = 117;  
α3 = 54;  
α4 = 9;  
tAir = 27;  
δ = 0.005;  
δIsolation = 0.015;  
Fsurf = 5;  
λIsolation[t_] := 0.091 + 0.00028 * t  
Clear[λSteel];  
_ОЧИСТИТЬ  
λSteel[t_] := 58.7 - 0.0423 * t;
```

In[205]:=

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[206]:=

```
tmAverage =  $\frac{tm1 + tm2}{2}$  // N  
_численно
```

Out[206]=

50.

In[207]:=

```
cpm = 1851;
```

Найдем температуру  $tVapor$ (°C)и удельную теплоту парообразования водяного пара  $r\left(\frac{kJ}{kg}\right)$  при  $P=0.27$  МПа. Воспользуемся NIST REFPROP 10.0

3: 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	403.12	0.27000	934.86	1.4955	546.24	2720.0	1.6343	7.0268
2								

Отсюда  $tVapor$  в градусах Цельсия:

In[208]:=

```
tVapor = 403.12 - 273.15
```

Out[208]=

129.97

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

In[209]:=

```
r = 2720.0 - 546.24
```

Out[209]=

2173.76

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

In[210]:=

$$Q_m = G_2 * c_{pm} * (t_{m2} - t_{m1})$$

Out[210]=

5923.2

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

$$q = \frac{t_{w2} - t_{w3}}{\frac{\delta_{\text{Isolation}}}{\lambda_{\text{Isolation}} \left( \frac{t_{w2} + t_{w3}}{2} \right)}} = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\frac{\delta}{\lambda_{\text{Steel}} \left( \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} \right)}} = \alpha_3 (t_{m\text{Average}} - t_{w1}) = \alpha_4 (t_{w3} - t_{\text{Air}}), \text{ где } t_{w1} - \text{температура 1-ой стенки} (^{\circ}\text{C}),$$

$t_{w2}$ - второй( $^{\circ}\text{C}$ ),  $t_{w3}$ - третьей( $^{\circ}\text{C}$ ).

In[211]:=

$$\{t_{w1}, t_{w2}, t_{w3}, q\} = \text{Last} \left[ \text{NSolveValues} \left[ \begin{aligned} & \left\{ q_{\text{BUFFER}} == \frac{t_{w2\text{BUFFER}} - t_{w3\text{BUFFER}}}{\frac{\delta_{\text{Isolation}}}{\lambda_{\text{Isolation}} \left( \frac{t_{w2\text{BUFFER}} + t_{w3\text{BUFFER}}}{2} \right)}}, q_{\text{BUFFER}} == \frac{t_{w1\text{BUFFER}} - t_{w2\text{BUFFER}}}{\frac{\delta}{\lambda_{\text{Steel}} \left( \frac{t_{w1\text{BUFFER}} + t_{w2\text{BUFFER}}}{2} \right)}}, q_{\text{BUFFER}} == \alpha_3 * (t_{m\text{Average}} - t_{w1\text{BUFFER}}), \right. \\ & \left. q_{\text{BUFFER}} == \alpha_4 * (t_{w3\text{BUFFER}} - t_{\text{Air}}) \right\}, \{t_{w1\text{BUFFER}}, t_{w2\text{BUFFER}}, t_{w3\text{BUFFER}}, q_{\text{BUFFER}}\}, \text{Reals} \right] \right] \end{aligned}$$

Out[211]=

{48.454246, 48.446879, 36.274523, 83.470709}

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

In[212]:=

$$Q_{\text{lost}} = q * F_{\text{surf}}$$

Out[212]=

417.35355

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

In[213]:=

$$Q_{\text{received}} = Q_{\text{lost}} + Q_m$$

Out[213]=

6340.5535

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  $P = 0.27 \text{ MPa}$  liquid enthalpy (kJ/kg)

3: 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	403.12	0.27000	934.86	1.4955	546.24	2720.0	1.6343	7.0268
2								

In[214]:=

$$h_{\text{OnePrime}} = 546.24;$$

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

In[215]:=

$$h_1 = h_{\text{OnePrime}} + X_1 * r$$

Out[215]=

2285.248

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

In[216]:=

$$h_2 = h_{OnePrime} + X_2 * r$$

Out[216]=

$$980.992$$

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

In[217]:=

$$q_{Vapor} = (h_1 - h_2) * 10^3$$

Out[217]=

$$1.304256 \times 10^6$$

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

In[218]:=

$$G_1 = \frac{Q_{received}}{q_{Vapor}}$$

Out[218]=

$$0.0048614333$$

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

In[219]:=

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

Out[219]=

$$9150.6015$$

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

In[220]:=

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

Out[220]=

$$0.69291112$$

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

In[221]:=

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

Out[221]=

$$0.091$$

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

In[222]:=

```
{tw1Secondary, tw2Secondary, tw3Secondary, qSecondary} =
Last[NSolveValues[{{qSecondaryBUFFFER ==  $\frac{tw2SecondaryBUFFFER - tw3SecondaryBUFFFER}{\frac{\delta Isolation}{\lambda IsolationConst}}$ },
[пос... значения для численного приближения решения уравнений
qSecondaryBUFFFER ==  $\frac{tw1SecondaryBUFFFER - tw2SecondaryBUFFFER}{\frac{\delta}{\lambda Steel \left[ \frac{tw1SecondaryBUFFFER + tw2SecondaryBUFFFER}{2} \right]}}$ , qSecondaryBUFFFER ==
 $\alpha 3 * (tmAverage - tw1SecondaryBUFFFER)$ , qSecondaryBUFFFER ==  $\alpha 4 * (tw3SecondaryBUFFFER - tAir)$ ,
tw1SecondaryBUFFFER > 0, tw2SecondaryBUFFFER > 0, tw3SecondaryBUFFFER > 0, qSecondaryBUFFFER > 0},
{tw1SecondaryBUFFFER, tw2SecondaryBUFFFER, tw3SecondaryBUFFFER, qSecondaryBUFFFER}, Reals]]
```

[множество действительных чи

Out[222]=

```
{48.553993, 48.5471, 35.676045, 78.084403}
```

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

In[223]:=

```
QlostSecondary = qSecondary * Fsurf
```

Out[223]=

```
390.42202
```

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

In[224]:=

```
QreceivedSecondary = QlostSecondary + Qm
```

Out[224]=

```
6313.622
```

Расход теплоносителя  $G1Secondary(kg/s)$ :

In[225]:=

```
G1Secondary =  $\frac{QreceivedSecondary}{qVapor}$ 
```

Out[225]=

```
0.0048407843
```

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

In[226]:=

```
qSnakeSecondary =  $\frac{(tVapor - tmAverage)}{\frac{1}{\alpha 1} + \frac{1}{\alpha 2}}$ 
```

Out[226]=

```
9150.6015
```

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

In[227]:=

```
FsnakeSecondary =  $\frac{QreceivedSecondary}{qSnakeSecondary}$ 
```

Out[227]=

```
0.68996798
```

6  
Найдем отличия двух способов решения:  $\lambda$ Isolation- const и  $\lambda$ Isolation=f(t):  
Сравним теплотоптери через стенки бака,расходы теплоносителя и площади поверхности змеевика и найдем абсолютные/относительные погрешности

In[228]:=

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

абсолютное значение

Out[228]=

26.93153

In[229]:=

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

Out[229]=

0.064529295

In[230]:=

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

абсолютное значение

Out[230]=

0.00002064896

In[231]:=

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

Out[231]=

0.0042475046

In[232]:=

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

абсолютное значение

Out[232]=

0.0029431432

In[233]:=

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

Out[233]=

0.0042475046

Вывод : Отличия существуют, погрешность присутствует(в пределах 6%), но если нужно сделать расчеты быстро то это пренебрежимо,поэтому функциональной зависимостью  $\lambda$ Isolation(t) можно пренебречь и брать коэффициент теплопроводности  $\lambda$ Isolation как const