

Выполнение расчетного задания по дисциплине

Тепломассообмен в среде Mathematica 14

Студент: Азимова Зарина

Группа: ТФ-11-22

Задача № 1

Задача 1.

В три стальные трубы ($d_2 \times \delta = 100 \times 3$ мм), расположенные на открытом воздухе с температурой 5°C поступает горячая вода при температуре 100°C и давлении 5 МПа, которая движется со скоростью 0,2 м/с. Первая труба покрыта слоем минеральной ваты толщиной 50 мм имеющая коэффициент теплопроводности $0,05 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$. Определить длину трубы если на выходе из нее температура воды уменьшилась на 20°C . Определить температуры воды на выходе из трубы покрытую слоем бетона толщиной 50 мм имеющая коэффициент теплопроводности $1,28 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ и из трубы без изоляции если они имеют ту же длину, что и первая труба. Расчет провести с учетом потерь тепла в окружающую среду совместно конвекцией и излучением. Для всех трех труб принять излучательную способность поверхности материала $\epsilon = 0,8$, коэффициент теплоотдачи $12,8 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$. Коэффициент теплоотдачи от воды к внутренней стороне трубы равен $12,8 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$. Построить графики $t_{ж}(x)$, $q_L(x)$, $q_c(x)$ для обеих способов расчета. Сравнить тепловой поток потерь трубопроводов Q для обеих способов расчета.

Указания:

1. Решить задачу используя формулу Шухова ($\Delta t_x = \Delta t_0 e^{-kmF_x}$) и по алгоритму решения задачи 3 гл. 2 учебника [1].
2. Свойства воды выбирать при средней температуре воды.
3. Проанализировать результаты с точки зрения эффективности работы изоляции труб.

Литература к задаче 1

1. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: Учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во МЭИ, 2008.

Данные из условия:

$d_2 = 100(\text{мм})$; $\delta = 3(\text{мм})$ - геометрия труб ; $t_{\text{Air}} = 5 (^\circ\text{C})$ - температура воздуха; $t_{\text{Liquid1}} = 100(^\circ\text{C})$ - температура горячей воды на входе (как $t_{ж1}$) ; $p = 5(\text{МПа})$ - давление горячей воды; $w = 0.2(\text{м/с})$ - скорость течения горячей воды;
 $\lambda_{\text{MinWool}} = 0.05(\text{Вт/м}\cdot\text{К})$; $\delta_{\text{MinWool}} = 50(\text{мм})$;
 $t_{\text{Liquid2}} = 100 - 20 = 80(^\circ\text{C})$ - температура горячей воды на выходе (как $t_{ж2}$) ; $\lambda_{\text{Concrete}} = 1.28(\text{Вт/м}\cdot\text{К})$; $\delta_{\text{Concrete}} = 50(\text{мм})$; $\epsilon = 0.8$ - излучательная способность поверхности материала труб; $\alpha = 12.8 (\text{Вт} / \text{м}^2 \text{ К})$ - коэффициент теплоотдачи

In[100]:=

```
d2 = 100 * 10-3;
δ = 3 * 10-3;
tAir = 5;
tLiquid1 = 100;
p = 5 * 106;
w = 0.2;
λMinWool = 0.05;
δMinWool = 50 * 10-3;
tLiquid2 = 80;
λConcrete = 1.28;
δConcrete = 50 * 10-3;
ε = 0.8;
α = 12.8;
```

Сталь берем нержавеющей, ее коэффициент теплопроводности λ_{Steel} (W/m K) берем как const в виду слабой зависимости от температуры:

In[103]:=

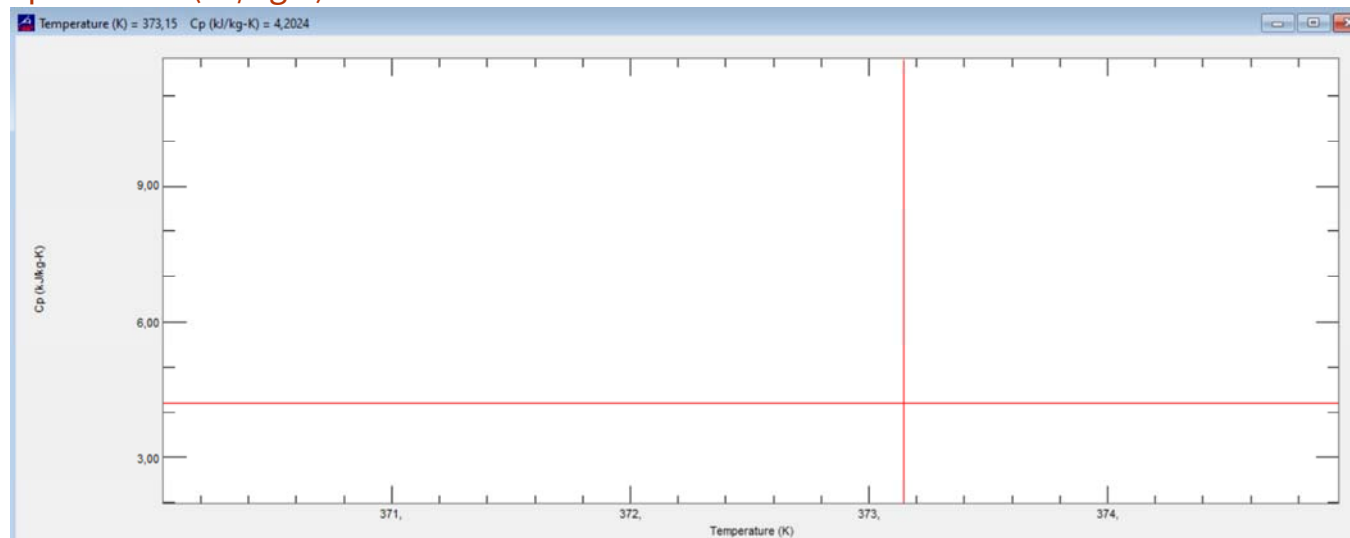
```
 $\lambda_{\text{Steel}} = 14.4$  ;
```

Изобарную ($p=5\text{MPa}$) теплоемкость и плотность воды при t_{Liquid1} и t_{Liquid2} найдем через REFPROP при substance-water

cp:

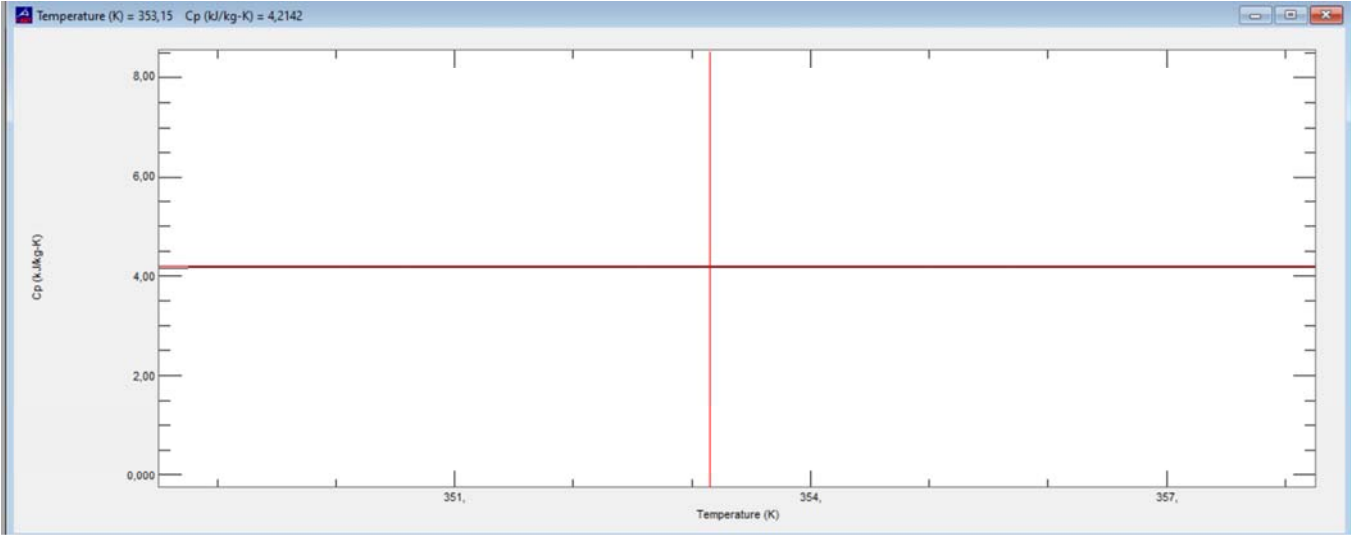
$t_{\text{Liquid1}}=100\text{ }(^{\circ}\text{C}) = 373.15(\text{K})$

$cp1=4.2024\text{ (kJ/kg K)}$



$t_{\text{Liquid2}}=80\text{ }(^{\circ}\text{C}) =353.15(\text{K})$

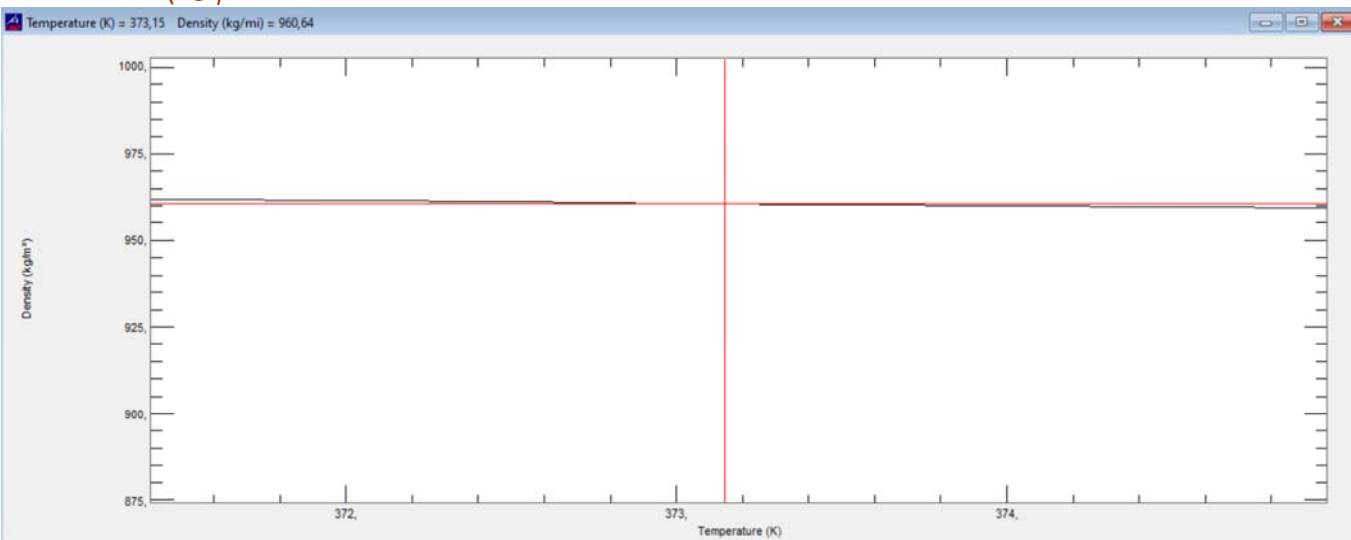
$c_{p2}=4.2142\text{ (kJ/kg K)}$



ПЛОТНОСТЬ:

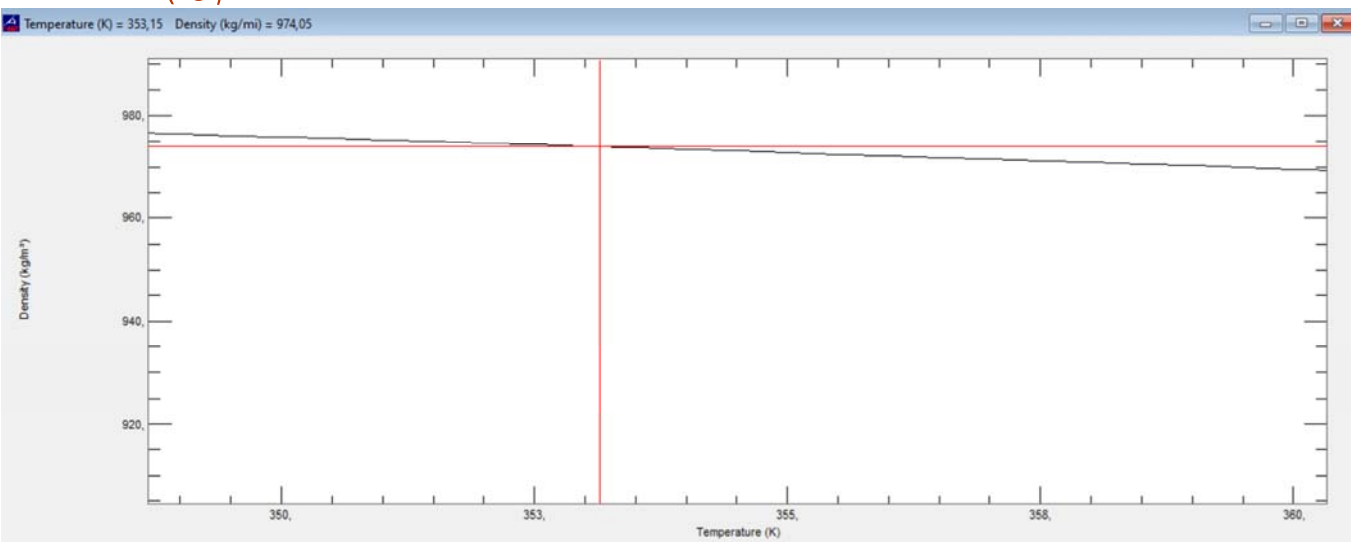
$t_{\text{Liquid1}}=100\text{ }(^{\circ}\text{C})$

$\rho_1=960.64\text{ (kg / m}^3\text{)}$



$t_{\text{Liquid2}}=80\text{ }(^{\circ}\text{C})$

$\rho_2=974.05\text{ (kg / m}^3\text{)}$



In[104]:=

$c_{p1} = 4.2024$; $c_{p2} = 4.2142$; $\rho_1 = 960.64$; $\rho_2 = 974.05$;

Средняя удельная изобарная теплоемкость $c_{pAverage}$ (J/kg K)

In[105]:=

$$c_{pAverage} = \frac{c_{p1} + c_{p2}}{2} * 1000$$

Out[105]=

4208.3

Средняя плотность воды $\rho_{Average}$ (kg / m³)

In[106]:=

$$\rho_{Average} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}$$

Out[106]=

967.345

Массовый расход воды G (kg/s)

In[107]:=

$$G = \pi * \left(\frac{d_2 - 2 * \delta}{2} \right)^2 * w * \rho_{Average}$$

Out[107]=

1.3426319

Найдем диаметры d_1, d_3 (m)

In[108]:=

$$d_1 = d_2 - 2 * \delta // N$$

[численное n]

Out[108]=

0.094

In[109]:=

$$d_3 = d_2 + 2 * \delta // N$$

[численное n]

Out[109]=

0.106

Найдем линейный коэффициент теплопередачи для трубы с ватной изоляцией $K_{linearMinWool}$ (W/m K)

In[110]:=

$$K_{linearMinWool} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha * d_1} + \frac{1}{2 * \lambda_{Steel}} * \text{Log} \left[\frac{d_2}{d_1} \right] + \frac{1}{2 * \lambda_{MinWool}} * \text{Log} \left[\frac{d_3}{d_2} \right] + \frac{1}{\alpha * d_3}}$$

Out[110]=

0.46447188

Применяя формулу Шухова найдем расстояние(длину трубы) на котором будет выполняться условие разности температур на входе и выходе в трубу с изоляцией из минеральной ваты:

In[111]:=

$$L = \text{First} \left[\text{NSolveValues} \left[t_{Liquid2} == t_{Air} + (t_{Liquid1} - t_{Air}) * \text{Exp} \left[\frac{-K_{linearMinWool}}{G * c_{pAverage}} * \pi * x \right], x \right] \right]$$

[первый значения для численного приближения решения уравнений] [показательная функция]

Out[111]=

915.33743

Найдем линейный коэффициент теплопередачи для трубы с бетонной изоляцией *KlinearConcrete* (W/m K)

In[112]:=

$$KlinearConcrete = \frac{1}{\frac{1}{\alpha \cdot d1} + \frac{1}{2 \lambda_{Steel}} * \text{Log} \left[\frac{d2}{d1} \right] + \frac{1}{2 \lambda_{Concrete}} * \text{Log} \left[\frac{d3}{d2} \right] + \frac{1}{\alpha \cdot d3}}$$

Out[112]=

0.62772469

По формуле Шухова найдем температуру на выходе из трубы с бетонной изоляцией:

In[113]:=

$$t[x_, k_] := tAir + (tLiquid1 - tAir) * \text{Exp} \left[\frac{-k}{G * cpAverage} * \pi * x \right]$$

In[114]:=

t[L, KlinearConcrete]

Out[114]=

74.020397

Найдем линейный коэффициент теплопередачи для трубы без изоляции *KlinearRaw* (W/m K)

In[115]:=

$$KlinearRaw = \frac{1}{\frac{1}{\alpha \cdot d1} + \frac{1}{2 \lambda_{Steel}} * \text{Log} \left[\frac{d2}{d1} \right] + \frac{1}{\alpha \cdot d3}}$$

Out[115]=

0.63682351

По формуле Шухова найдем температуру на выходе из трубы без изоляции:

In[116]:=

t[L, KlinearRaw]

Out[116]=

73.701519

Функция теплового потока и плотности теплового потока :

In[117]:=

```
Q[x_, k_] := k * π * (t[x, k] - tAir) * x;  
qLinear[x_, k_] := k * π * (t[x, k] - tAir);
```

Тепловой поток *Q(W)* и его линейная плотность *qLinear(W/m)* для голой трубы:

In[119]:=

Q[L, KlinearRaw]

Out[119]=

125810.39

In[120]:=

qLinear[L, KlinearRaw]

Out[120]=

137.44701

Тепловой поток *Q(W)* и его линейная плотность *qLinear(W/m)* для трубы с бетонной изоляцией:

In[121]:=

Q[L, KlinearConcrete]

Out[121]=

124588.44

In[122]:=

qLinear[L, KlinearConcrete]

Out[122]=

136.11204

Тепловой поток $Q(W)$ и его линейная плотность $qLinear(W/m)$ для трубы с ватной изоляцией:

In[123]:=

```
Q[L, KlinearMinWool]
```

Out[123]=

```
100173.26
```

In[124]:=

```
qLinear[L, KlinearMinWool]
```

Out[124]=

```
109.43861
```

Произведем расчеты по другому:

In[125]:=

```
qLinearAdditional[k_] := k * π *  $\left( \frac{tLiquid1 + tLiquid2}{2} - tAir \right)$ 
```

Запишем баланс энергий:

$Q = qLinear * L = G * cpAverage * (tLiquid1 - tLiquid2) = \pi$

$* \left(\frac{d1}{2} \right)^2 * w * cpAverage * \rhoAverage * (tLiquid1 - tLiquid2)$, отсюда можно найти $L(m)$:

In[126]:=

```
Ladditional = First[NSolveValues[  
  [первый] значения для численного приближения решения уравнений  
  qLinearAdditional[KlinearMinWool] * x == π *  $\left( \frac{d1}{2} \right)^2 * w * cpAverage * \rhoAverage * (tLiquid1 - tLiquid2)$ , x]]
```

Out[126]=

```
911.09872
```

Выразим $tLiquid2$ из линейной плотности теплового потока как переменную :

In[127]:=

```
Solve[k * π *  $\left( \frac{tLiquid2asVariable + tLiquid1}{2} - tAir \right) * x ==$   
  [решить уравнения  
  π *  $\left( \frac{d1}{2} \right)^2 * w * cpAverage * \rhoAverage * (tLiquid1 - tLiquid2asVariable)$ , tLiquid2asVariable]
```

Out[127]=

```
{ {tLiquid2asVariable ->  $\frac{565019.8 - 141.37167 k x}{5650.198 + 1.5707963 k x}$  } }
```

In[128]:=

```
tLiquid2asVariable[k_, x_] :=  $\frac{565019.8006215384 - 141.3716694115407 * k * x}{5650.198006215384 + 1.5707963267948966 * k * x}$ 
```

Теперь найдем температуры на выходе из трубы с бетонной изоляцией и трубы без изоляции.

Бетонная изоляция:

In[129]:=

```
tLiquid2asVariable[KlinearConcrete, Ladditional]
```

Out[129]=

```
73.934751
```

Голая труба:

In[130]:=

```
tLiquid2asVariable[KlinearRaw, Ladditional]
```

Out[130]=

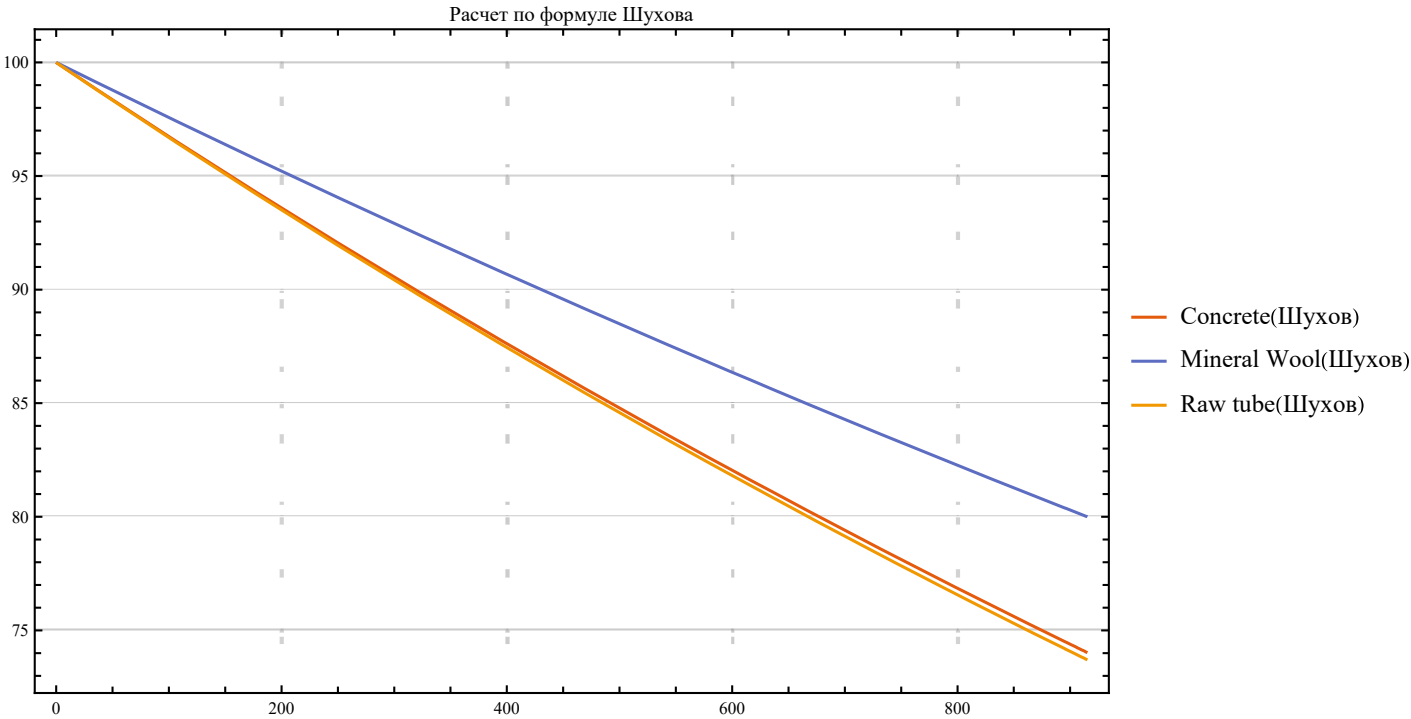
```
73.609414
```

Изобразим функциональные зависимости температуры жидкости в точке x , где

In[131]:=

```
Plot[{t[χ, KlinearConcrete], t[χ, KlinearMinWool], t[χ, KlinearRaw]},  
[график функции  
  {χ, 0, L}, PlotLabel → "Расчет по формуле Шухова", PlotTheme → "Scientific",  
  [пометка графика [тематический стиль графика  
  PlotLegends → {"Concrete (Шухов)", "Mineral Wool (Шухов)", "Raw tube (Шухов)"},  
  [легенды графика  
  ImageSize → Large, GridLines → Automatic]  
[размер изоб... [круп... [линии коорд... [автоматический
```

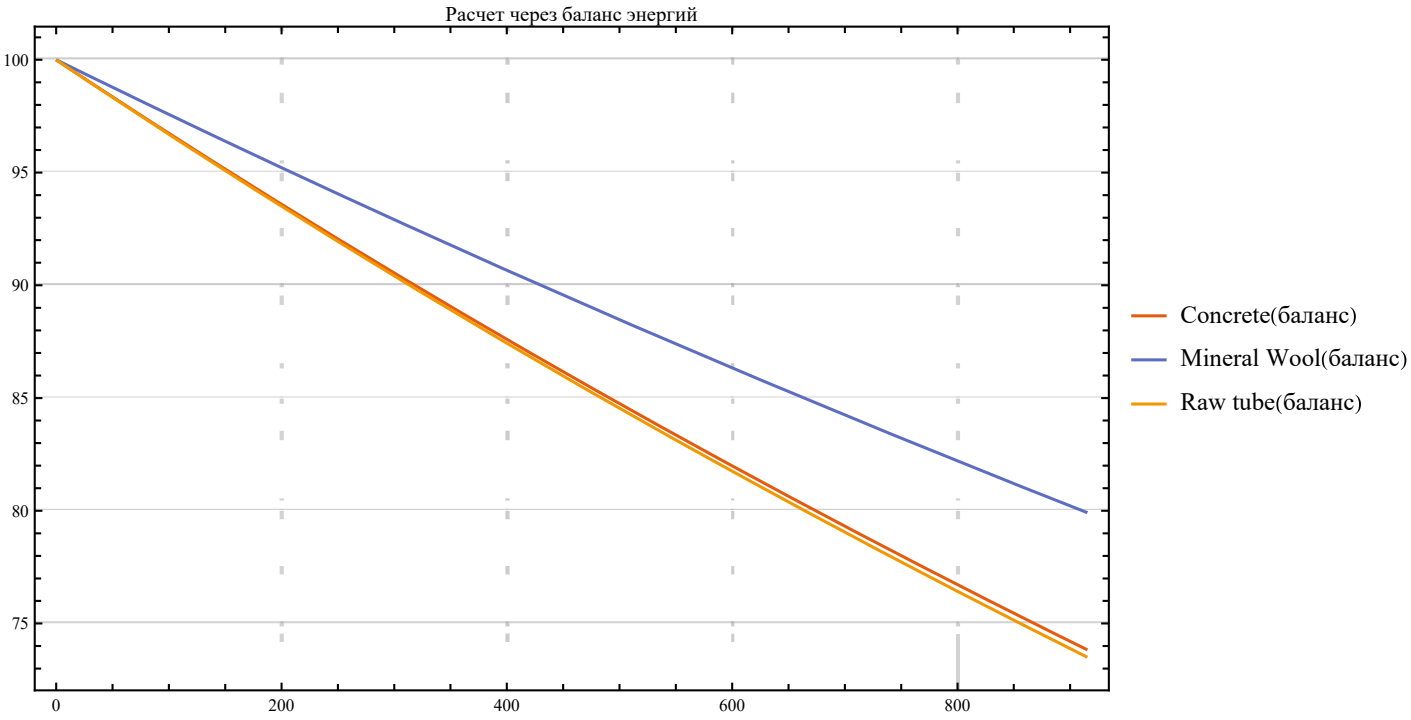
Out[131]=



In[132]:=

```
Plot[{tLiquid2asVariable[KlinearConcrete, χ], tLiquid2asVariable[KlinearMinWool, χ],  
[график функции  
  tLiquid2asVariable[KlinearRaw, χ]}, {χ, 0, L}, PlotLabel → "Расчет через баланс энергии",  
  [пометка графика  
  PlotTheme → "Scientific", PlotLegends → {"Concrete (баланс)", "Mineral Wool (баланс)", "Raw tube (баланс)"},  
  [тематический стиль графика [легенды графика  
  ImageSize → Large, GridLines → Automatic]  
[размер изоб... [круп... [линии коорд... [автоматический
```

Out[132]=

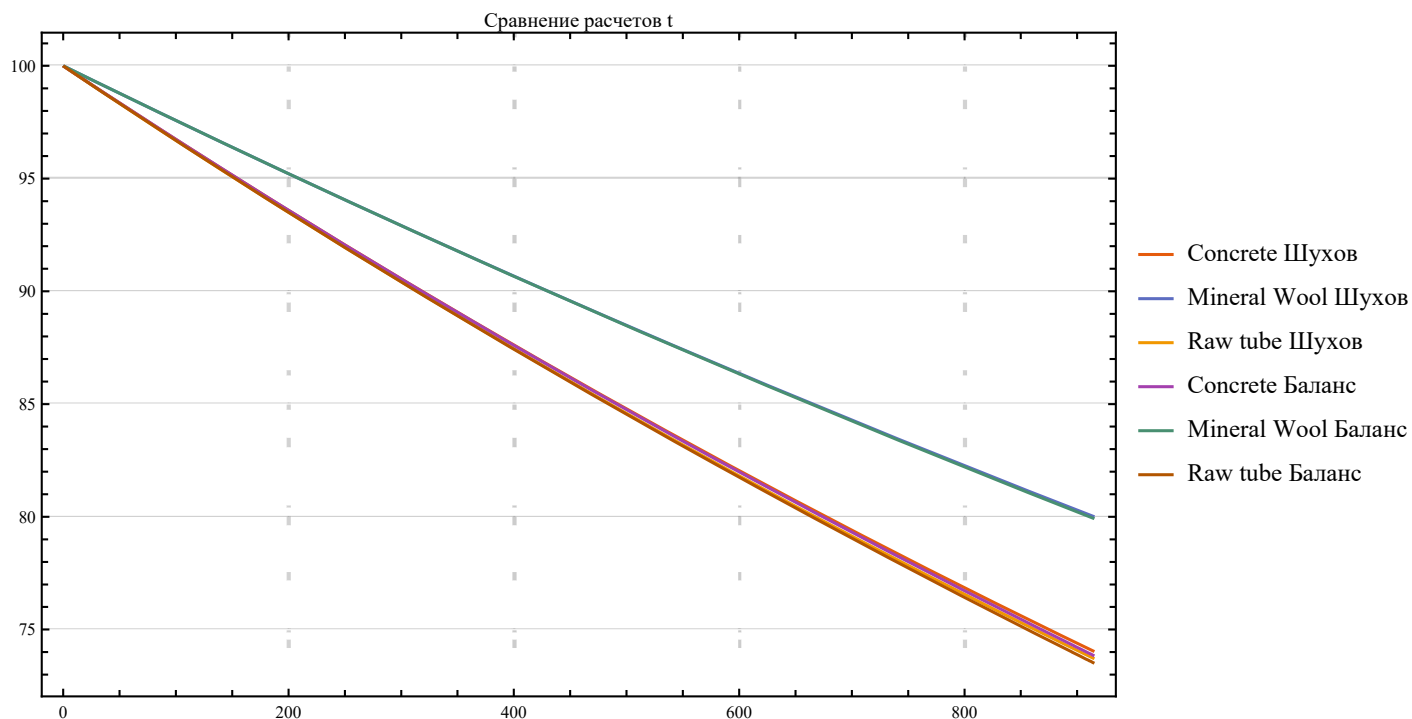


Сопоставим функции температур в одной системе координат:

In[133]:=

```
Plot[{t[x, KlinearConcrete], t[x, KlinearMinWool],
      t[x, KlinearRaw], tLiquid2asVariable[KlinearConcrete, x],
      tLiquid2asVariable[KlinearMinWool, x], tLiquid2asVariable[KlinearRaw, x]},
{ x, 0, L}, PlotLabel → "Сравнение расчетов t", PlotTheme → "Scientific",
PlotLegends → {"Concrete Шухов", "Mineral Wool Шухов", "Raw tube Шухов", "Concrete Баланс",
"Mineral Wool Баланс", "Raw tube Баланс"}, ImageSize → Large, GridLines → Automatic]
```

Out[133]=



Точно так же изобразим функции линейных плотностей тепловых потоков.

Для начала введем функцию линейной плотности теплового потока при расчете методом баланса энергий:

In[134]:=

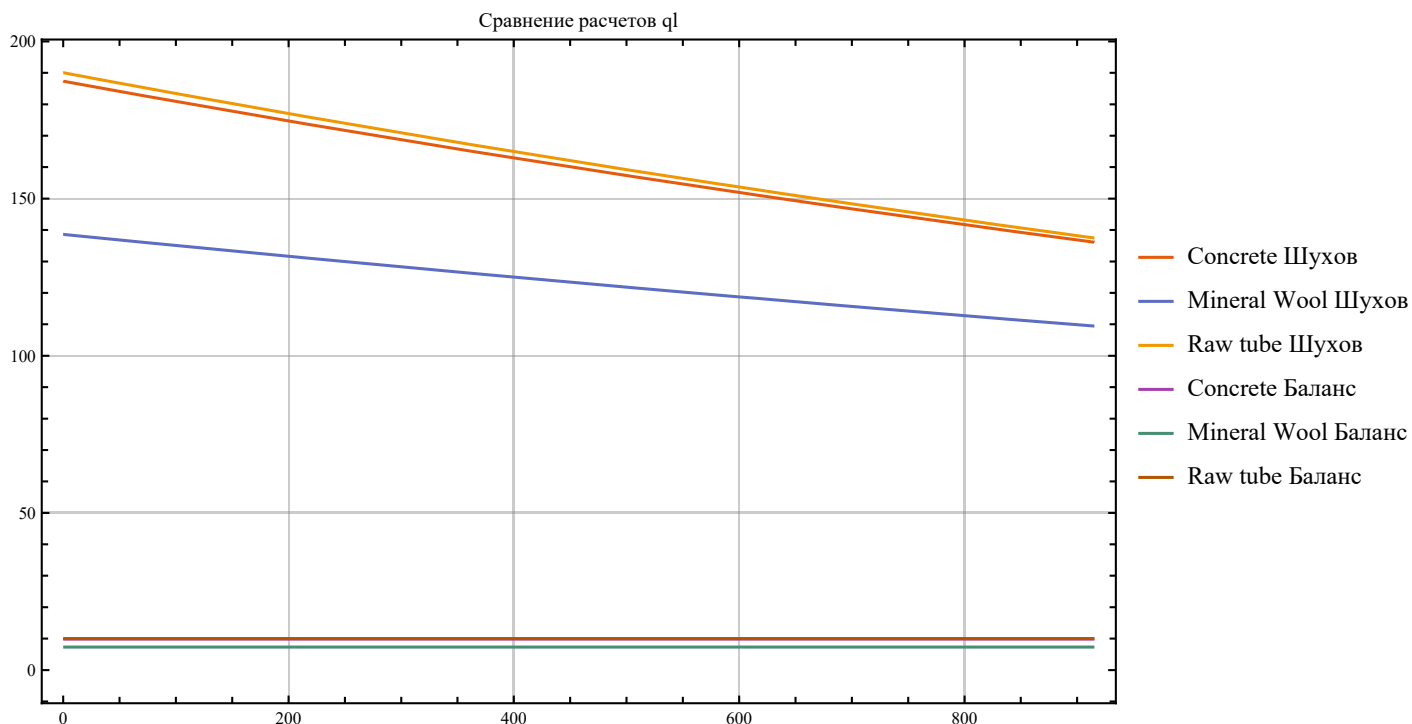
```
qLinearAdditionalFunction[k_] := k * π *  $\left( \frac{t_{\text{Liquid1}} - t_{\text{Liquid2}}}{2} - t_{\text{Air}} \right)$ 
```


Покажем графики линейных плотностей тепловых потоков в одной координатной плоскости $ql(W/m)$:

In[135]:=

```
Plot[{qLinear[x, KlinearConcrete], qLinear[x, KlinearMinWool],
      qLinear[x, KlinearRaw], qLinearAdditionalFunction[KlinearConcrete],
      qLinearAdditionalFunction[KlinearMinWool], qLinearAdditionalFunction[KlinearRaw]},
      {x, 0, L}, PlotLabel → "Сравнение расчетов ql", PlotTheme → "Scientific",
      PlotLegends → {"Concrete Шухов", "Mineral Wool Шухов", "Raw tube Шухов", "Concrete Баланс",
      "Mineral Wool Баланс", "Raw tube Баланс"}, ImageSize → Large, GridLines → Automatic]
```

Out[135]=



Теперь построим поверхностные плотности тепловых потоков $qc (W / m^2)$:

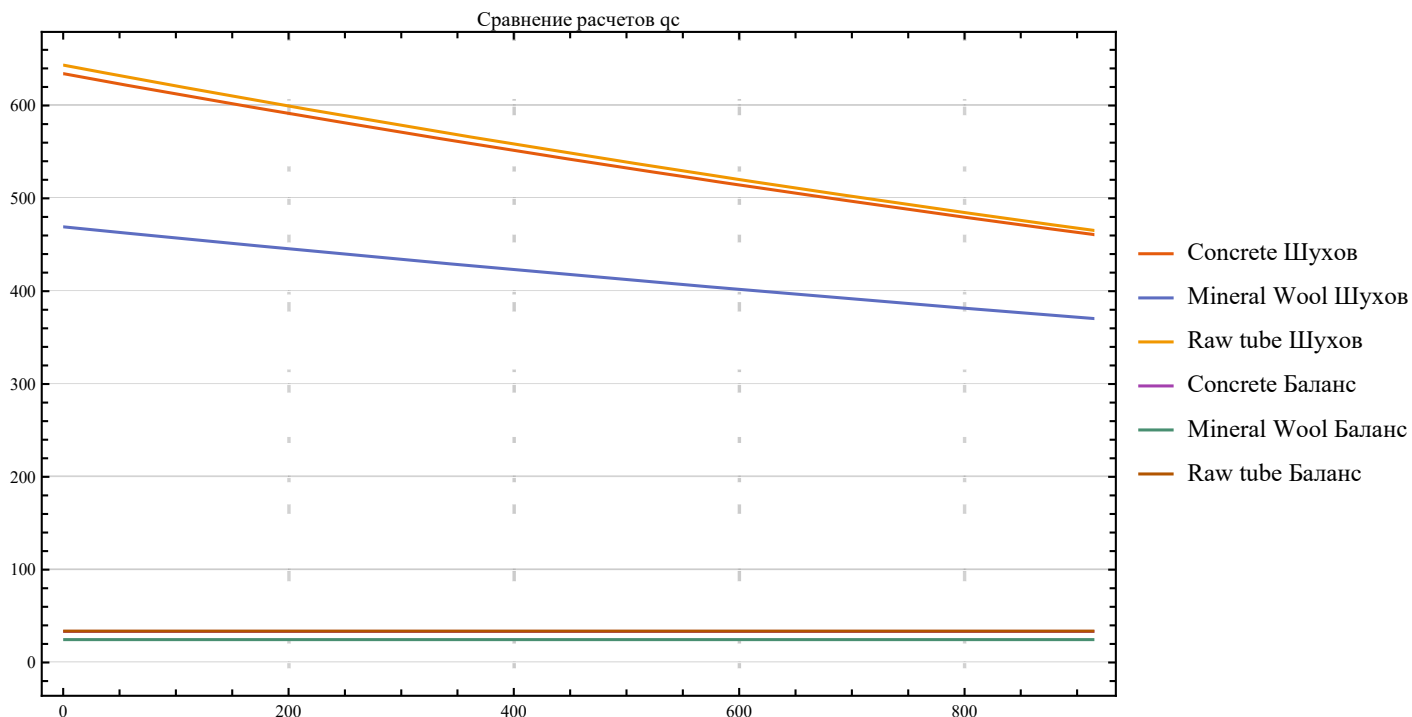
In[136]:=

```
qcShuhov[x_, k_] := qLinear[x, k] / (π * d1); qcBalance[k_] := qLinearAdditionalFunction[k] / (π * d1);
```

In[137]:=

```
Plot[{qcShuhov[x, KlinearConcrete], qcShuhov[x, KlinearMinWool], qcShuhov[x, KlinearRaw],  
      qcBalance[KlinearConcrete], qcBalance[KlinearMinWool], qcBalance[KlinearRaw]],  
      {x, 0, L}, PlotLabel -> "Сравнение расчетов qc", PlotTheme -> "Scientific",  
      PlotLegends -> {"Concrete Шухов", "Mineral Wool Шухов", "Raw tube Шухов", "Concrete Баланс",  
      "Mineral Wool Баланс", "Raw tube Баланс"}, ImageSize -> Large, GridLines -> Automatic]
```

Out[137]=



Найдем среднее значение линейной плотности теплового потока(W/m):

In[138]:=

$$q_{\text{LinearAverageWithoutInsulation}} = \frac{q_{\text{Linear}}[0, \text{KlinearRaw}] + q_{\text{Linear}}[L, \text{KlinearRaw}]}{2}$$

Out[138]=

163.75391

In[139]:=

$$q_{\text{LinearAverageConcreteInsulation}} = \frac{q_{\text{Linear}}[0, \text{KlinearConcrete}] + q_{\text{Linear}}[L, \text{KlinearConcrete}]}{2}$$

Out[139]=

161.72864

In[140]:=

$$q_{\text{LinearAverageMinWoolInsulation}} = \frac{q_{\text{Linear}}[0, \text{KlinearMinWool}] + q_{\text{Linear}}[L, \text{KlinearMinWool}]}{2}$$

Out[140]=

124.03042

Среднее значение температуры на поверхности труб:

In[141]:=

```
{twWithoutIns, twConcreteIns, twMinWoolIns} =  
Flatten[NSolveValues[{qLinearAverageWithoutInsulation ==  $\pi * \frac{twWithoutInsBUFFER - tAir}{\frac{1}{\alpha * d2}}$ ,  
[уплотнить значения для численного приближения решения уравнений  
 $qLinearAverageConcreteInsulation == \pi * \frac{twConcreteInsBUFFER - tAir}{\frac{1}{\alpha * d3}}$ ,  
 $qLinearAverageMinWoolInsulation == \pi * \frac{twMinWoolInsBUFFER - tAir}{\frac{1}{\alpha * d3}}$ },  
{twWithoutInsBUFFER, twConcreteInsBUFFER, twMinWoolInsBUFFER}]]]
```

Out[141]=

```
{45.722256, 42.942089, 34.097958}
```

In[142]:=

Учет излучение

σ - константа Стефана – Больцмана ($W / m^2 K^4$)

In[143]:=

```
 $\sigma = 5.671 * 10^{-8};$ 
```

Переведем температуры на поверхности труб и температуру воздуха в абсолютные единицы (Кельвины)

In[144]:=

```
TwWithoutIns = twWithoutIns + 273.15;  
TwConcreteIns = twConcreteIns + 273.15;  
TwMinWoolIns = twMinWoolIns + 273.15;  
Tair = tAir + 273.15;
```

Найдем результирующую плотность потока излучения E_{res} (W / m^2):

In[145]:=

```
 $E_{resMinWool} = \epsilon * \sigma * (TwMinWoolIns^4 - Tair^4)$ 
```

Out[145]=

```
132.74173
```

In[146]:=

```
 $E_{resConcrete} = \epsilon * \sigma * (TwConcreteIns^4 - Tair^4)$ 
```

Out[146]=

```
181.34184
```

In[147]:=

```
 $E_{resWithoutIns} = \epsilon * \sigma * (TwWithoutIns^4 - Tair^4)$ 
```

Out[147]=

```
197.48717
```

Найдем эквивалентный коэффициент теплоотдачи излучением α_{Eqv} ($W / m^2 K$):

In[148]:=

```
 $\alpha_{EqvMinWool} = \frac{E_{resMinWool}}{TwMinWoolIns - Tair}$ 
```

Out[148]=

```
4.5618914
```

In[149]:=

```
 $\alpha_{EqvConcrete} = \frac{E_{resConcrete}}{TwConcreteIns - Tair}$ 
```

Out[149]=

```
4.7794375
```

In[150]:=

$$\alpha_{\text{EqvWithoutIns}} = \frac{\text{EresWithoutIns}}{\text{TwWithoutIns} - \text{Tair}}$$

Out[150]=

4.8496127

In[151]:=

$$\text{MradMinWool} = \frac{1}{\alpha * d1} + \frac{1}{2 * \lambda_{\text{Steel}}} * \text{Log}\left[\frac{d2}{d1}\right] + \frac{1}{2 * \lambda_{\text{MinWool}}} * \text{Log}\left[\frac{d3}{d2}\right] + \frac{1}{(\alpha + \alpha_{\text{EqvMinWool}}) * d3}$$

Out[151]=

1.9593264

In[152]:=

$$\text{MradConcrete} = \frac{1}{\alpha * d1} + \frac{1}{2 * \lambda_{\text{Steel}}} * \text{Log}\left[\frac{d2}{d1}\right] + \frac{1}{2 * \lambda_{\text{Concrete}}} * \text{Log}\left[\frac{d3}{d2}\right] + \frac{1}{(\alpha + \alpha_{\text{EqvConcrete}}) * d3}$$

Out[152]=

1.3926743

In[153]:=

$$\text{MradWithoutIns} = \frac{1}{\alpha * d1} + \frac{1}{2 * \lambda_{\text{Steel}}} * \text{Log}\left[\frac{d2}{d1}\right] + \frac{1}{(\alpha + \alpha_{\text{EqvWithoutIns}}) * d3}$$

Out[153]=

1.3677793

In[154]:=

$$P = \left(\frac{d1}{2}\right)^2 * w * \rho_{\text{Average}} * cp_{\text{Average}}$$

Out[154]=

1798.5139

In[155]:=

$$\text{tLiquid2RadiationVariable}[M_, x_] := \frac{2 * P * M * \text{tLiquid1} + 2 * \text{tAir} * x - \text{tLiquid1} * x}{x + 2 * P * M}$$

Линейная плотность потока излучения для трубы с ватной изоляцией:

In[156]:=

$$\text{qLinearRadiationMinWool}[x_] := \pi * \frac{\left(\frac{\text{tLiquid1} + \text{tLiquid2RadiationVariable}[\text{MradMinWool}, x]}{2} - \text{tAir}\right)}{\frac{1}{\alpha * d1} + \frac{1}{2 * \lambda_{\text{Steel}}} * \text{Log}\left[\frac{d2}{d1}\right] + \frac{1}{2 * \lambda_{\text{Concrete}}} * \text{Log}\left[\frac{d3}{d2}\right] + \frac{1}{(\alpha + \alpha_{\text{EqvMinWool}}) * d3}}$$

Из баланса энергий найдем длину трубы:

In[157]:=

$$\text{LwithRadiation} = \text{First}\left[\text{NSolveValues}\left[\frac{\left(\frac{\text{tLiquid1} + \text{tLiquid2}}{2} - \text{tAir}\right)}{\frac{1}{\alpha * d1} + \frac{1}{2 * \lambda_{\text{Steel}}} * \text{Log}\left[\frac{d2}{d1}\right] + \frac{1}{2 * \lambda_{\text{Concrete}}} * \text{Log}\left[\frac{d3}{d2}\right] + \frac{1}{(\alpha + \alpha_{\text{EqvMinWool}}) * d3}} * \text{Len} == \pi * \left(\frac{d1}{2}\right)^2 * w * \rho_{\text{Average}} * cp_{\text{Average}} * (\text{tLiquid1} - \text{tLiquid2}), \text{Len}\right]\right]$$

Out[157]=

1860.4421

Линейная плотность потока излучения трубы с ватной изоляцией:(W/m)

In[158]:=

$$\text{qLinearRadiationMinWool}[\text{LwithRadiation}]$$

Out[158]=

168.73026

Для трубы без изоляции : (W / m)

In[159]:=

$$q_{\text{LinearRadiationWithoutIns}}[x_] := \pi * \frac{\left(\frac{t_{\text{Liquid1}} + t_{\text{Liquid2RadiationVariable}}[\text{MradWithoutIns}, x]}{2} - t_{\text{Air}} \right)}{\frac{1}{\alpha * d1} + \frac{1}{2 \lambda_{\text{Steel}}} * \text{Log} \left[\frac{d2}{d1} \right] + \frac{1}{(\alpha + \alpha_{\text{EqvWithoutIns}}) * d3}}$$

In[160]:=

qLinearRadiationWithoutIns[LwithRadiation]

Out[160]=

158.32995

In[161]:=

tLiquid2RadiationVariableWithoutIns = tLiquid2RadiationVariable[MradWithoutIns, LwithRadiation]

Out[161]=

47.866656

Для трубы с изоляцией из бетона:

In[162]:=

$$q_{\text{LinearRadiationConcrete}}[x_] := \pi * \frac{\left(\frac{t_{\text{Liquid1}} + t_{\text{Liquid2RadiationVariable}}[\text{MradConcrete}, x]}{2} - t_{\text{Air}} \right)}{\frac{1}{\alpha * d1} + \frac{1}{2 \lambda_{\text{Steel}}} * \text{Log} \left[\frac{d2}{d1} \right] + \frac{1}{2 \lambda_{\text{Concrete}}} * \text{Log} \left[\frac{d3}{d2} \right] + \frac{1}{(\alpha + \alpha_{\text{EqvConcrete}}) * d3}}$$

In[163]:=

qLinearRadiationConcrete[LwithRadiation]

Out[163]=

156.26616

In[164]:=

tLiquid2RadiationVariable[MradConcrete, LwithRadiation]

Out[164]=

48.546203

Рассчитаем потери теплоты:

In[165]:=

```
QradConcrete[x_] := qLinearRadiationConcrete[x] * x;
QradMinWool[x_] := qLinearRadiationMinWool[x] * x;
QradWithoutIns[x_] := qLinearRadiationWithoutIns[x] * x;
```

Потери теплоты в трубе с бетонной изоляцией:(W)

In[168]:=

QradConcrete[LwithRadiation]

Out[168]=

290724.14

Потери теплоты в трубе с ватной изоляцией:(W)

In[169]:=

QradMinWool[LwithRadiation]

Out[169]=

313912.89

In[170]:=

QradWithoutIns[LwithRadiation]

Out[170]=

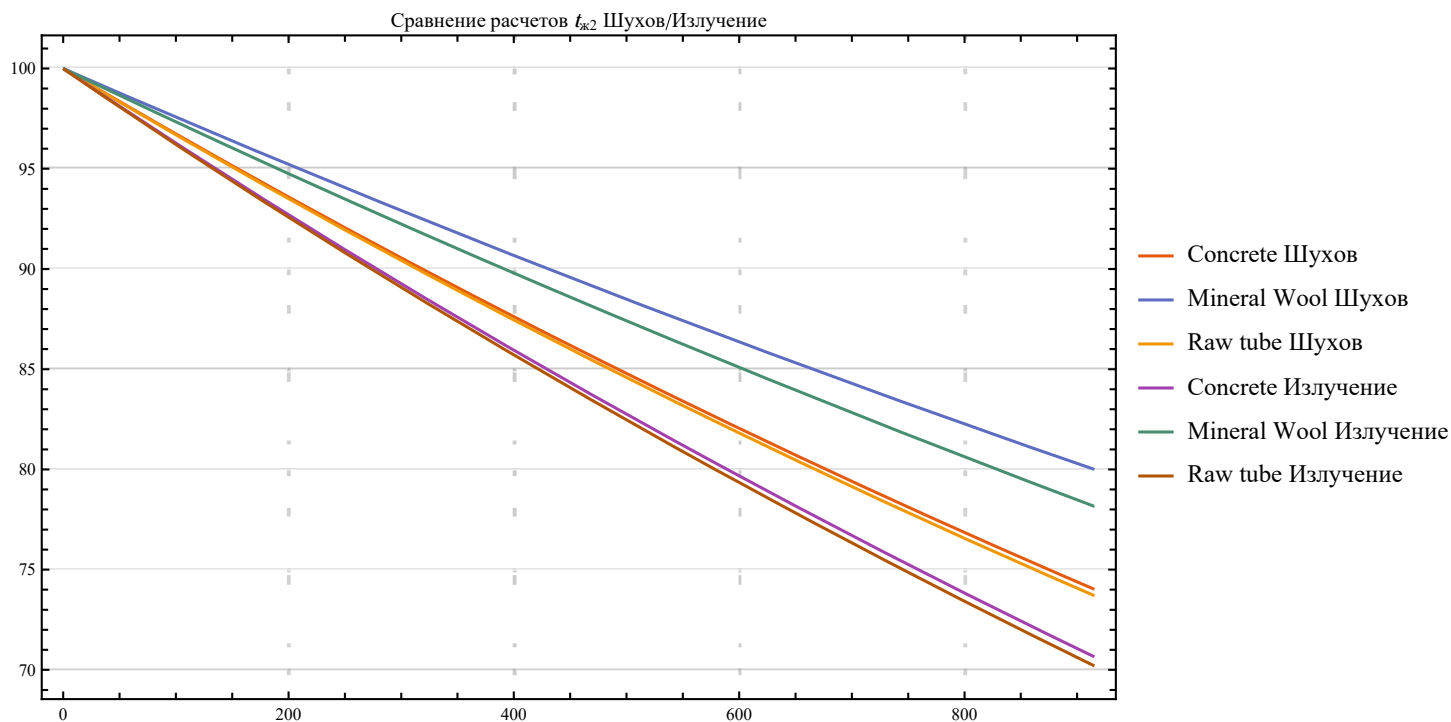
294563.72

Сравним расчеты температуры(Шухов/Излучение):

In[171]:=

```
Plot[{t[x, KlinearConcrete], t[x, KlinearMinWool], t[x, KlinearRaw],
  график функции
  tLiquid2RadiationVariable[MradConcrete, x], tLiquid2RadiationVariable[MradMinWool, x],
  tLiquid2RadiationVariable[MradWithoutIns, x]}, {x, 0, L},
  PlotLabel → "Сравнение расчетов  $t_{ж2}$  Шухов/Излучение", PlotTheme → "Scientific",
  пометка графика
  PlotLegends → {"Concrete Шухов", "Mineral Wool Шухов", "Raw tube Шухов", "Concrete Излучение",
  легенды графика
  "Mineral Wool Излучение", "Raw tube Излучение"}, ImageSize → Large, GridLines → Automatic]
  размер изоб... круп... линии коорд... автоматический
```

Out[171]=

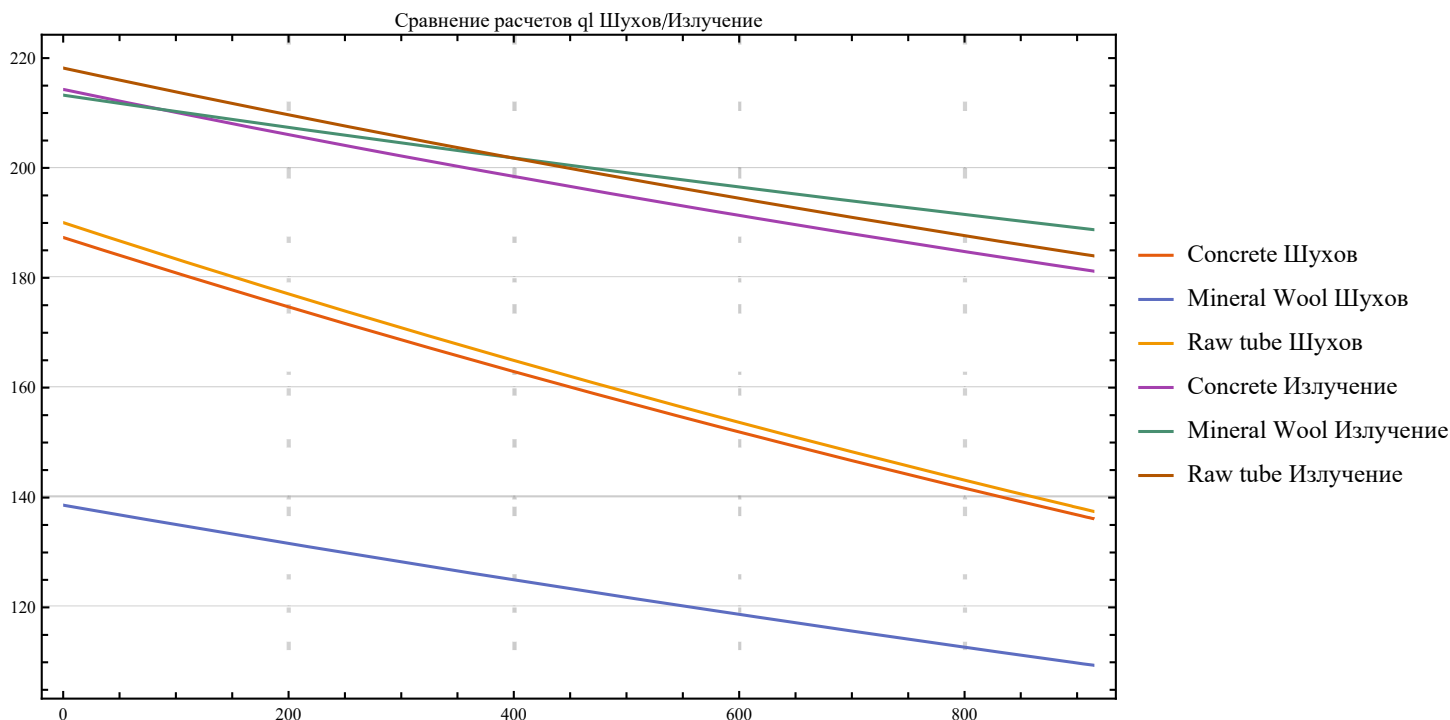


Сравним расчеты линейной плотности потоков тепла/излучения(Шухов/Излучение):

In[172]:=

```
Plot[{qLinear[x, KlinearConcrete], qLinear[x, KlinearMinWool], qLinear[x, KlinearRaw],
      qLinearRadiationConcrete[x], qLinearRadiationMinWool[x], qLinearRadiationWithoutIns[x]},
      {x, 0, L}, PlotLabel → "Сравнение расчетов q1 Шухов/Излучение", PlotTheme → "Scientific",
      PlotLegends → {"Concrete Шухов", "Mineral Wool Шухов", "Raw tube Шухов", "Concrete Излучение",
      "Mineral Wool Излучение", "Raw tube Излучение"}, ImageSize → Large, GridLines → Automatic]
```

Out[172]=



Соберем все результаты выше воедино.

Способ основанный на формуле Шухова.

Температуры жидкости на выходе(°C):(порядок:бетон,вата,без изоляции)

In[173]:=

```
t[L, KlinearConcrete]
```

Out[173]=

```
74.020397
```

In[174]:=

```
t[L, KlinearMinWool]
```

Out[174]=

```
80.
```

In[175]:=

```
t[L, KlinearRaw]
```

Out[175]=

```
73.701519
```

Тепловой поток(W):(порядок:бетон,вата,без изоляции)

In[176]:=

```
Q[L, KlinearConcrete]
```

Out[176]=

```
124588.44
```

In[177]:=

```
Q[L, KlinearMinWool]
```

Out[177]=

```
100173.26
```

```
In[178]:= Q[L, KlinearRaw]
Out[178]= 125 810.39
```

Способ основанный на методе баланса энергии.

Температуры жидкости на выходе($^{\circ}\text{C}$):(порядок:бетон,вата,без изоляции).

```
In[179]:= tLiquid2asVariable[KlinearConcrete, Ladditional]
Out[179]= 73.934751
```

```
In[180]:= tLiquid2asVariable[KlinearMinWool, Ladditional]
Out[180]= 80.
```

```
In[181]:= tLiquid2asVariable[KlinearRaw, Ladditional]
Out[181]= 73.609414
```

Тепловой поток(W):(порядок:бетон,вата,без изоляции)

```
In[182]:= Qadditional[k_, x_] := qLinear[x, k] * x;
In[183]:= Qadditional[KlinearConcrete, Ladditional]
Out[183]= 124 195.1
```

```
In[184]:= Qadditional[KlinearMinWool, Ladditional]
Out[184]= 99 818.584
```

```
In[185]:= Qadditional[KlinearRaw, Ladditional]
Out[185]= 125 415.89
```

Способ с учетом излучения. Температуры жидкости на выходе($^{\circ}\text{C}$):(порядок:бетон,вата,без изоляции)

```
In[186]:= tLiquid2RadiationVariable[MradConcrete, LwithRadiation]
Out[186]= 48.546203
```

```
In[187]:= tLiquid2RadiationVariable[MradMinWool, LwithRadiation]
Out[187]= 60.319227
```

```
In[188]:= tLiquid2RadiationVariable[MradWithoutIns, LwithRadiation]
Out[188]= 47.866656
```

Поток излучения(W):(порядок:бетон,вата,без изоляции)

```
In[189]:= QradConcrete[LwithRadiation]
Out[189]= 290 724.14
```



```
In[190]:= QradMinWool[LwithRadiation]
Out[190]= 313912.89

In[191]:= QradWithoutIns[LwithRadiation]
Out[191]= 294563.72
```

Найдем критический диаметр при бетонной и ватной изоляциях

```
In[192]:= d2 // N
           |численное приближение
Out[192]= 0.1

In[193]:= dCriticalConcrete = d2 +  $\frac{2 \lambda_{\text{Concrete}}}{\alpha}$ 
Out[193]= 0.3

In[194]:= dCriticalMinWool = d2 +  $\frac{2 \lambda_{\text{MinWool}}}{\alpha}$ 
Out[194]= 0.1078125
```

Вывод: Тепло от теплоносителя лучше всего сохраняет труба с ватной изоляцией. На втором месте бетон. На почетном третьем- труба без изоляции