

**Задача 1.**

В три стальные трубы ( $d_2 \times \delta = 140 \times 4$  мм), расположенные на открытом воздухе с температурой  $2^\circ\text{C}$  поступает горячая вода при температуре  $160^\circ\text{C}$  и давлении 5 МПа, которая движется со скоростью 5,2 м/с. Первая труба покрыта слоем минеральной ваты толщиной 30 мм имеющая коэффициент теплопроводности  $0,05 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ . Определить длину трубы если на выходе из нее температура воды уменьшилась на  $70^\circ\text{C}$ . Определить температуры воды на выходе из трубы покрытую слоем бетона толщиной 30 мм имеющая коэффициент теплопроводности  $1,1 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$  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  $11 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ . Коэффициент теплоотдачи от воды к внутренней стороне трубы равен  $11 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ . 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:**

$d_2 = 140(\text{мм})$ ;  $\delta = 4(\text{мм})$  - геометрия труб ;  $t_{\text{Air}} = 2 (^\circ\text{C})$  - температура воздуха;  $t_{\text{Liquid1}} = 160(^\circ\text{C})$  - температура горячей воды на входе (как  $t_{ж1}$ ) ;  $p = 5(\text{МПа})$  - давление горячей воды;  $w = 5.2(\text{м/с})$  - скорость течения горячей воды;  
 $\lambda_{\text{MinWool}} = 0.05(\text{Вт/м}\cdot\text{К})$ ;  $\delta_{\text{MinWool}} = 30(\text{мм})$ ;  
 $t_{\text{Liquid2}} = 160 - 70 = 90(^\circ\text{C})$  - температура горячей воды на выходе (как  $t_{ж2}$ ) ;  $\lambda_{\text{Concrete}} = 1.1(\text{Вт/м}\cdot\text{К})$ ;  $\delta_{\text{Concrete}} = 30(\text{мм})$ ;  $\epsilon = 0.8$  - излучательная способность поверхности материала труб;  $\alpha = 11(\text{Вт/м}^2\cdot\text{К})$  - коэффициент теплоотдачи

In[107]:=

```
d2 = 140 * 10-3;
δ = 4 * 10-3;
tAir = 2;
tLiquid1 = 160;
p = 5 * 106;
w = 5.2;
λMinWool = 0.05;
δMinWool = 30 * 10-3;
tLiquid2 = 90;
λConcrete = 1.1;
δConcrete = 30 * 10-3;
ε = 0.8;
α = 11;
```

Сталь берем нержавеющей, ее коэффициент теплопроводности  $\lambda_{\text{Steel}}$  (Вт/м К) берем как const в виду слабой зависимости от температуры:

In[110]:=

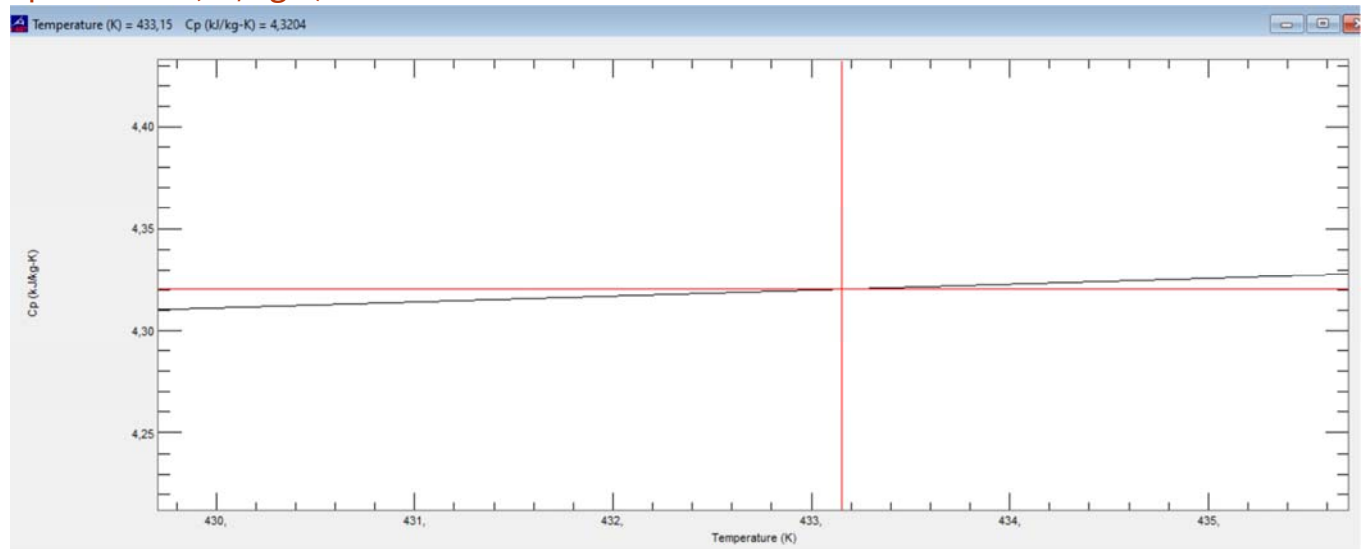
```
λSteel = 14.4 ;
```

Изобарную ( $p = 5 \text{ МПа}$ ) теплоемкость и плотность воды при  $t_{\text{Liquid1}}$  и  $t_{\text{Liquid2}}$  найдем через REFPROP:

cp:

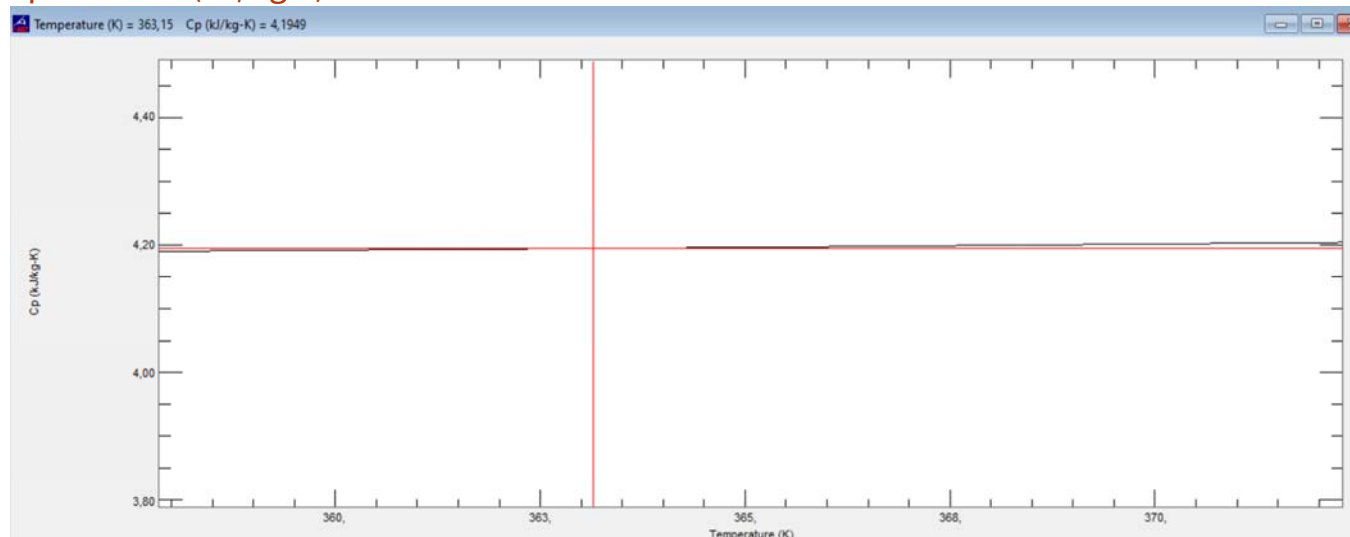
tLiquid1=160 (°C) =433.15(K)

cp1=4.3204 (kJ/kg K)



$t_{\text{Liquid2}} = 90\ (^{\circ}\text{C}) = 363.15\text{ (K)}$

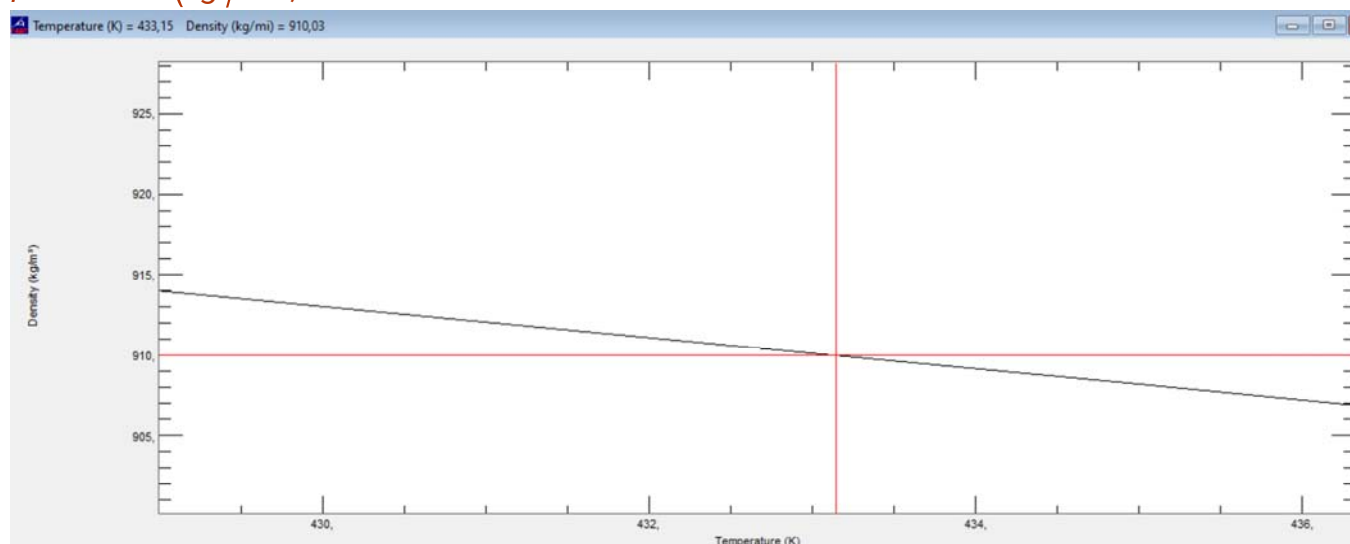
$c_{p2} = 4.1949\text{ (kJ/kg K)}$



ПЛОТНОСТЬ:

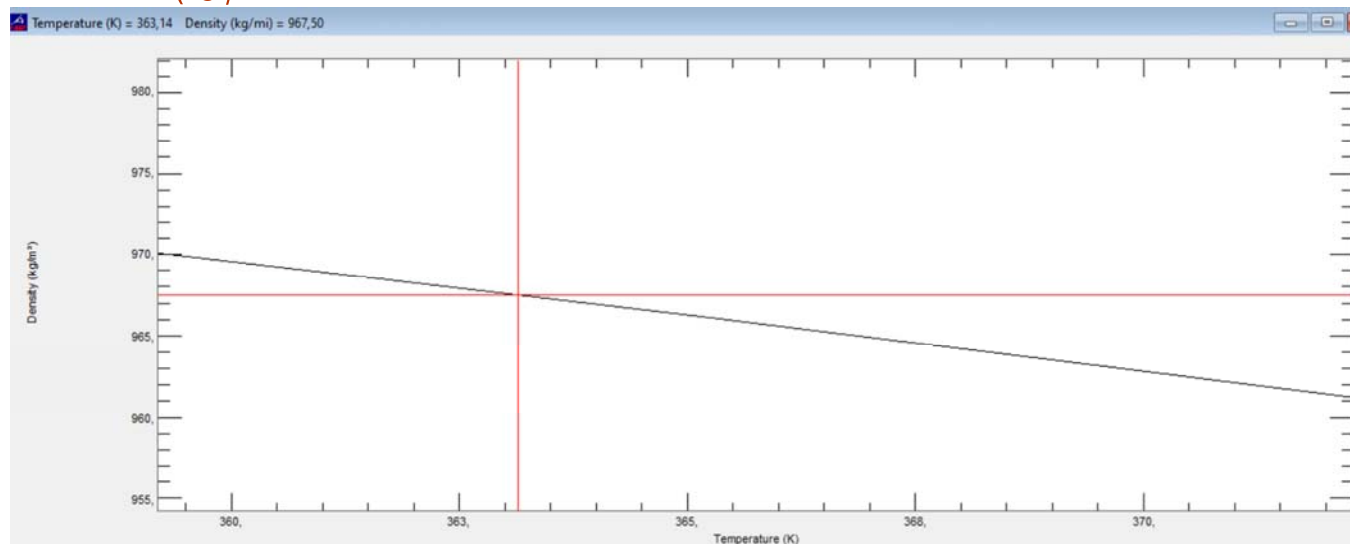
$t_{\text{Liquid1}} = 160\ (^{\circ}\text{C})$

$\rho_1 = 910.03\text{ (kg/m}^3\text{)}$



$t_{\text{Liquid2}} = 90\ (^{\circ}\text{C})$

$\rho_2 = 967.50\text{ (kg/m}^3\text{)}$



ln[111]:=

$c_{p1} = 4.3204$ ;  $c_{p2} = 4.1949$ ;  $\rho_1 = 910.03$ ;  $\rho_2 = 967.50$ ;

Средняя удельная изобарная теплоемкость  $cp_{Average} (J/kg \cdot K)$

In[112]:=

$$cp_{Average} = \frac{cp1 + cp2}{2} * 1000$$

Out[112]=

4257.65

Средняя плотность воды  $\rho_{Average} (kg/m^3)$

In[113]:=

$$\rho_{Average} = \frac{\rho1 + \rho2}{2}$$

Out[113]=

938.765

Массовый расход воды  $G (kg/s)$

In[114]:=

$$G = \pi * \left( \frac{d2 - 2 * \delta}{2} \right)^2 * w * \rho_{Average}$$

Out[114]=

66.803309

Найдем диаметры  $d1, d3 (m)$

In[115]:=

$$d1 = d2 - 2 * \delta // N$$

численное π

Out[115]=

0.132

In[116]:=

$$d3 = d2 + 2 * \delta // N$$

численное π

Out[116]=

0.148

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

In[117]:=

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

Out[117]=

0.53743289

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[118]:=

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

первый численное решение уравнений      показательная функция

Out[118]=

{x → 98591.924}

Таким образом длина трубы равна 98591.924m)

In[119]:=

$$L = 98591.924;$$

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

In[120]:=

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

Out[120]=

0.75173391

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

In[121]:=

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

In[122]:=

t[L, KlinearConcrete]

Out[122]=

71.683634

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

In[123]:=

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

Out[123]=

0.76628416

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

In[124]:=

t[L, KlinearRaw]

Out[124]=

70.588194

Функция теплового потока и плотности теплового потока :

In[125]:=

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[127]:=

Q[L, KlinearRaw]

Out[127]=

 $1.6279101 \times 10^7$ 

In[128]:=

qLinear[L, KlinearRaw]

Out[128]=

165.11597

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

In[129]:=

Q[L, KlinearConcrete]

Out[129]=

 $1.6225054 \times 10^7$ 

In[130]:=

qLinear[L, KlinearConcrete]

Out[130]=

164.56778

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

In[131]:=

$Q[L, KlinearMinWool]$

Out[131]=

$1.4648668 \times 10^7$

In[132]:=

$qLinear[L, KlinearMinWool]$

Out[132]=

148.57878

Произведем расчеты по другому:

In[133]:=

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

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[134]:=

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

Out[134]=

95 870.888

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

In[135]:=

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

Out[135]=

$\left\{ \left\{ tLiquid2asVariable \rightarrow \frac{4.5508018 \times 10^7 - 245.04423 k x}{284 425.11 + 1.5707963 k x} \right\} \right\}$

In[136]:=

$tLiquid2asVariable[k_, x_] := \frac{4.550801754893684 \times 10^7 - 245.04422698000386 k x}{284425.10968085524 + 1.5707963267948966 k x}$

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

Бетонная изоляция:

In[137]:=

$tLiquid2asVariable[KlinearConcrete, Ladditional]$

Out[137]=

70.034268

Голая труба:

In[138]:=

$tLiquid2asVariable[KlinearRaw, Ladditional]$

Out[138]=

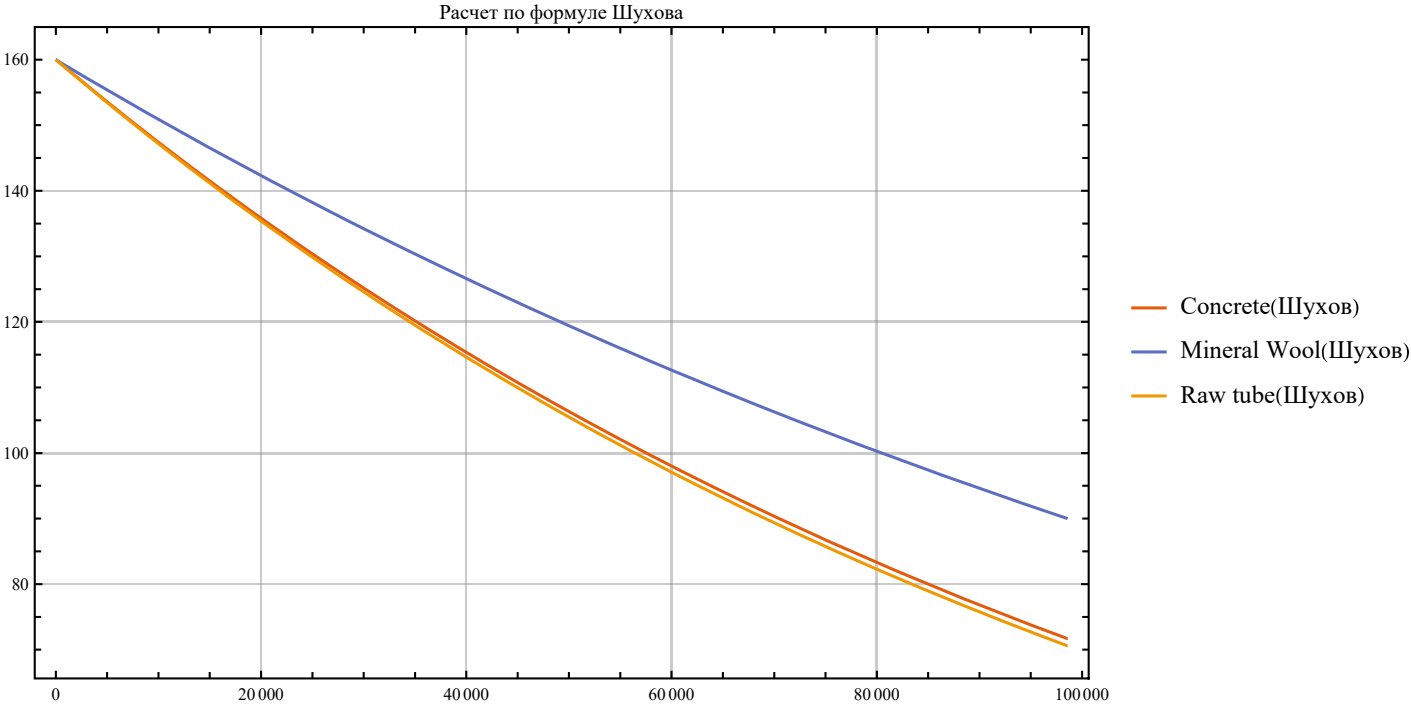
68.795517

Изобразим функциональные зависимости температуры жидкости в точке  $x$ , где

In[139]:=

```
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
```

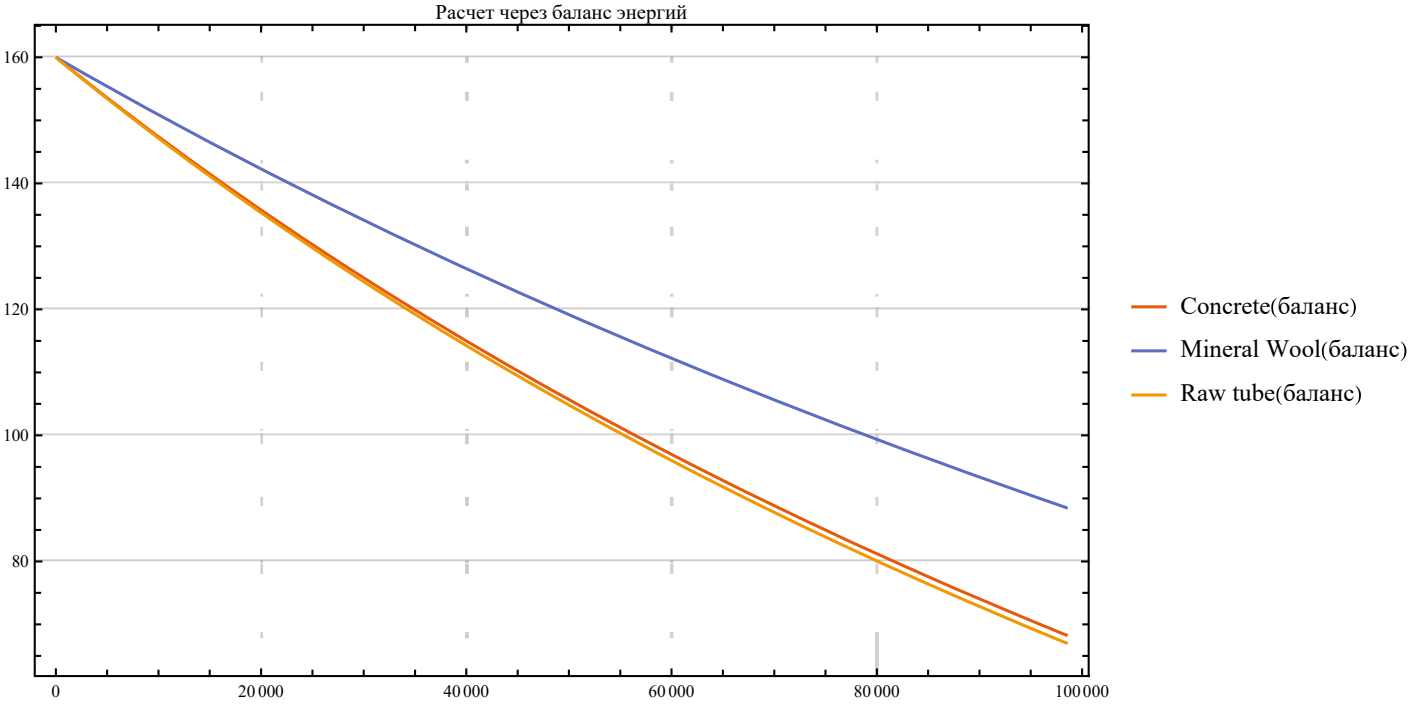
Out[139]=



In[140]:=

```
Plot[{tLiquid2asVariable[KlinearConcrete, χ], tLiquid2asVariable[KlinearMinWool, χ],  
[график функции  
  tLiquid2asVariable[KlinearRaw, χ]}, {χ, 0, L}, PlotLabel → "Расчет через баланс энергий",  
  [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[140]=

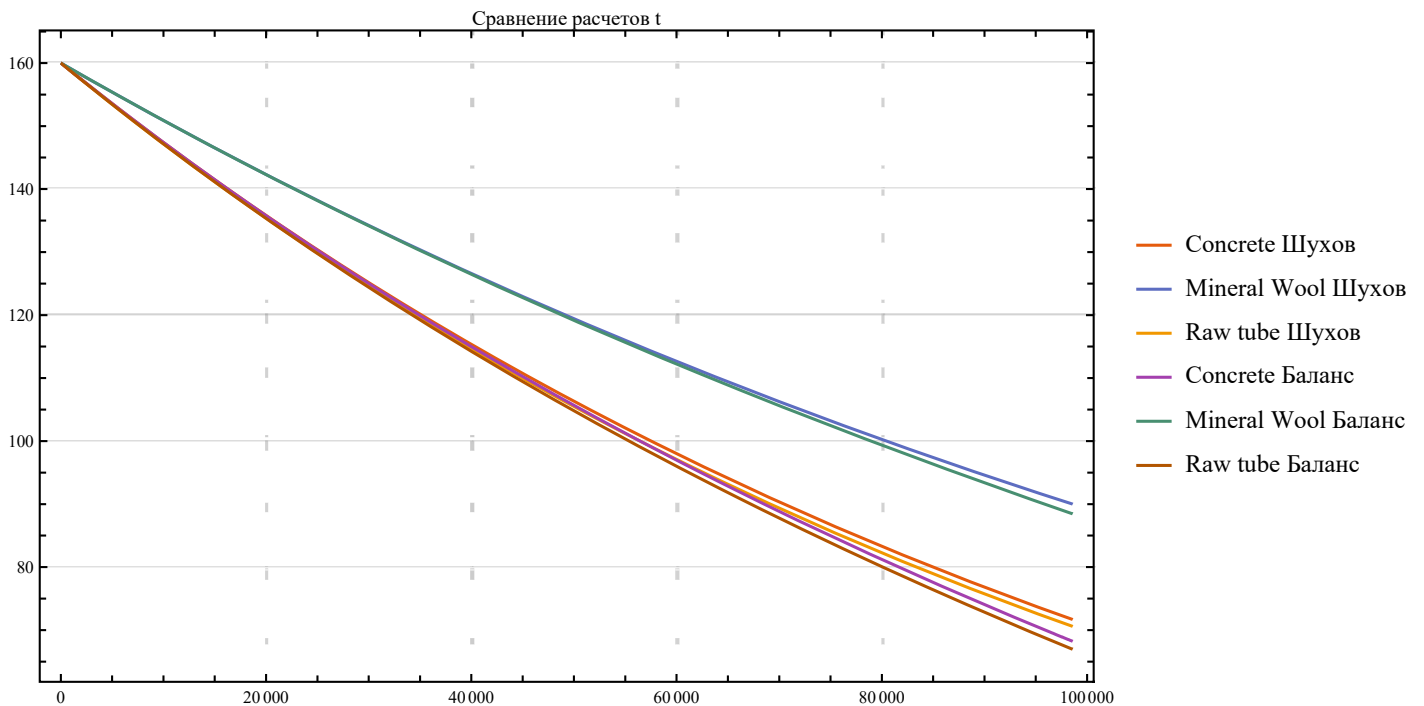


## Сопоставим функции температур в одной системе координат:

In[141]:=

```
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[141]=



Точно так же изобразим функции линейных плотностей тепловых потоков.

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

In[142]:=

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

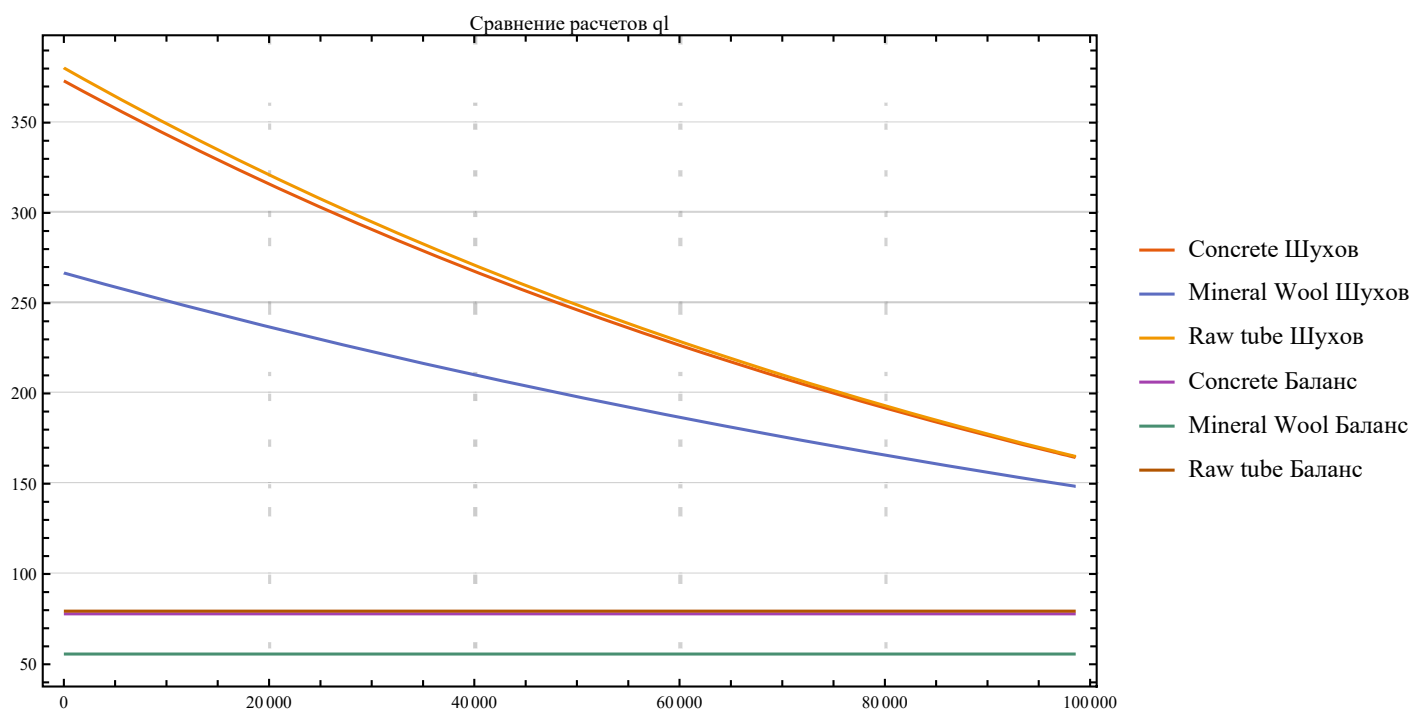


Покажем графики линейных плотностей тепловых потоков в одной координатной плоскости  $ql(W/m)$ :

In[143]:=

```
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[143]=



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

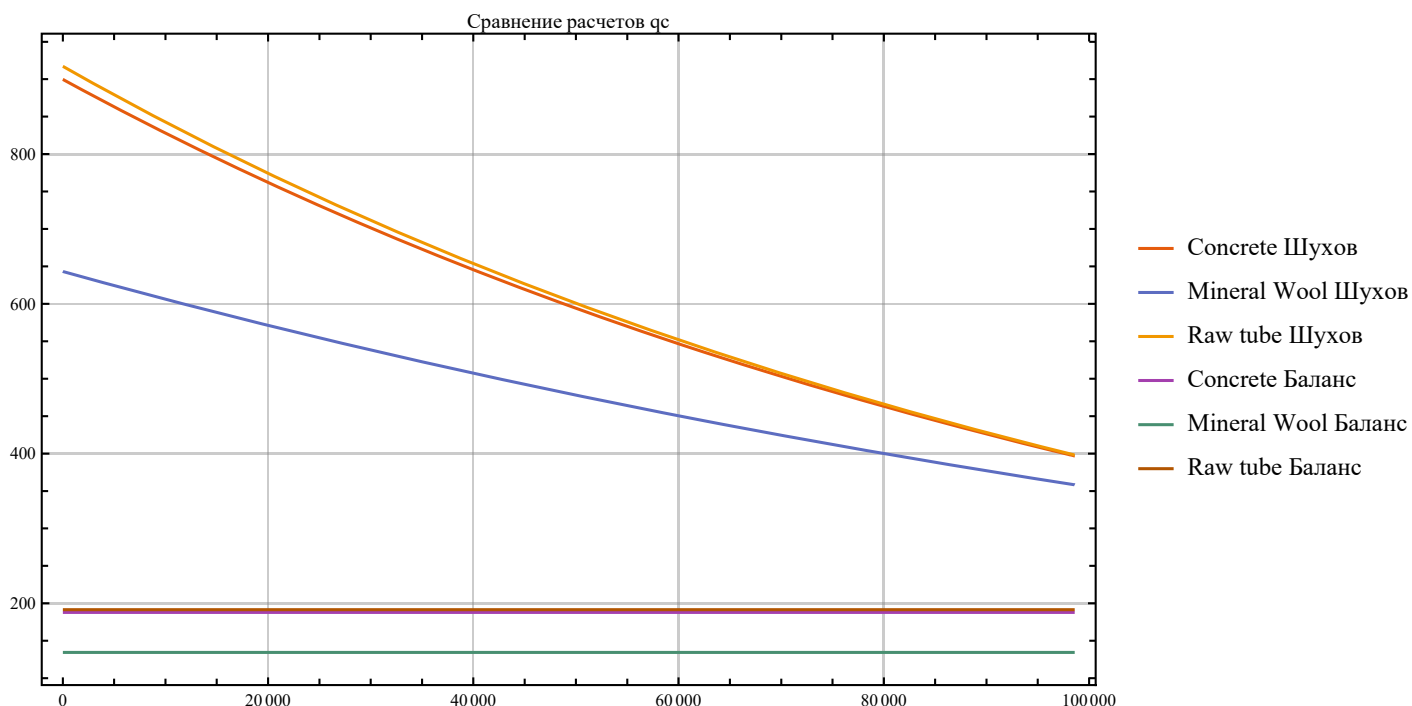
In[144]:=

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

In[143]:= №1 KA.nb

```
Plot[{qcShuhov[x, KlinearConcrete], qcShuhov[x, KlinearMinWool], qcShuhov[x, KlinearRaw],
[график функции]
qcBalance[KlinearConcrete], qcBalance[KlinearMinWool], qcBalance[KlinearRaw]],
{x, 0, L}, PlotLabel → "Сравнение расчетов qc", PlotTheme → "Scientific",
[пометка графика] [тематический стиль графика]
PlotLegends → {"Concrete Шухов", "Mineral Wool Шухов", "Raw tube Шухов", "Concrete Баланс",
[легенды графика]
"Mineral Wool Баланс", "Raw tube Баланс"}, ImageSize → Large, GridLines → Automatic]
[размер изоб... [круп... [линии коорд... [автоматический]
```

Out[145]=



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

In[146]:=

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

Out[146]=

272.73885

In[147]:=

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

Out[147]=

268.85358

In[148]:=

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

Out[148]=

207.67261

## Среднее значение температуры на поверхности труб:

In[149]:=

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

Out[149]=

```
{58.373683, 54.566802, 42.604573}
```

In[150]:=

## Учет излучение

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

In[151]:=

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

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

In[152]:=

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

## Найдем результирующую плотность потока излучения Eres ( $W / m^2$ ):

In[153]:=

```
EresMinWool =  $\epsilon * \sigma * (TwMinWoolIns^4 - Tair^4)$ 
```

Out[153]=

```
190.93806
```

In[154]:=

```
EresConcrete =  $\epsilon * \sigma * (TwConcreteIns^4 - Tair^4)$ 
```

Out[154]=

```
263.2599
```

In[155]:=

```
EresWithoutIns =  $\epsilon * \sigma * (TwWithoutIns^4 - Tair^4)$ 
```

Out[155]=

```
288.00192
```

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

In[156]:=

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

Out[156]=

```
4.7023782
```

In[157]:=

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

Out[157]=

```
5.008102
```

In[151]: №1 KA.nb

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

Out[158]=

5.1088008

In[159]:=

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

Out[159]=

1.6767483

In[160]:=

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

Out[160]=

1.1380909

In[161]:=

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

Out[161]=

1.1101934

In[162]:=

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

Out[162]=

90535.324

In[163]:=

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

Линейная плотность потока излучения для трубы с ватной изоляцией:

In[164]:=

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

Из баланса энергий найдем длину трубы:

In[165]:=

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

Out[165]=

185550.66

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

In[166]:=

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

Out[166]=

268.76321

## Для трубы без изоляции : $(W / m^2)$

In[167]:=

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

In[168]:=

**qLinearRadiationWithoutIns[LwithRadiation]**

Out[168]=

232.49964

In[169]:=

**tLiquid2RadiationVariableWithoutIns = tLiquid2RadiationVariable[MradWithoutIns, LwithRadiation]**

Out[169]=

8.3240096

## Для трубы с изоляцией из бетона:

In[170]:=

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

In[171]:=

**qLinearRadiationConcrete[LwithRadiation]**

Out[171]=

229.50071

In[172]:=

**tLiquid2RadiationVariable[MradConcrete, LwithRadiation]**

Out[172]=

10.280419

## Рассчитаем потери теплоты:

In[173]:=

**QradConcrete[x\_] := qLinearRadiationConcrete[x] \* x;**  
**QradMinWool[x\_] := qLinearRadiationMinWool[x] \* x;**  
**QradWithoutIns[x\_] := qLinearRadiationWithoutIns[x] \* x;**

## Потери теплоты в трубе с бетонной изоляцией: $(W)$

In[176]:=

**QradConcrete[LwithRadiation]**

Out[176]=

$4.2584008 \times 10^7$

## Потери теплоты в трубе с ватной изоляцией: $(W)$

In[177]:=

**QradMinWool[LwithRadiation]**

Out[177]=

$4.9869191 \times 10^7$

In[178]:=

**QradWithoutIns[LwithRadiation]**

Out[178]=

$4.314046 \times 10^7$

## Сравним расчеты температуры(Шухов/Излучение):

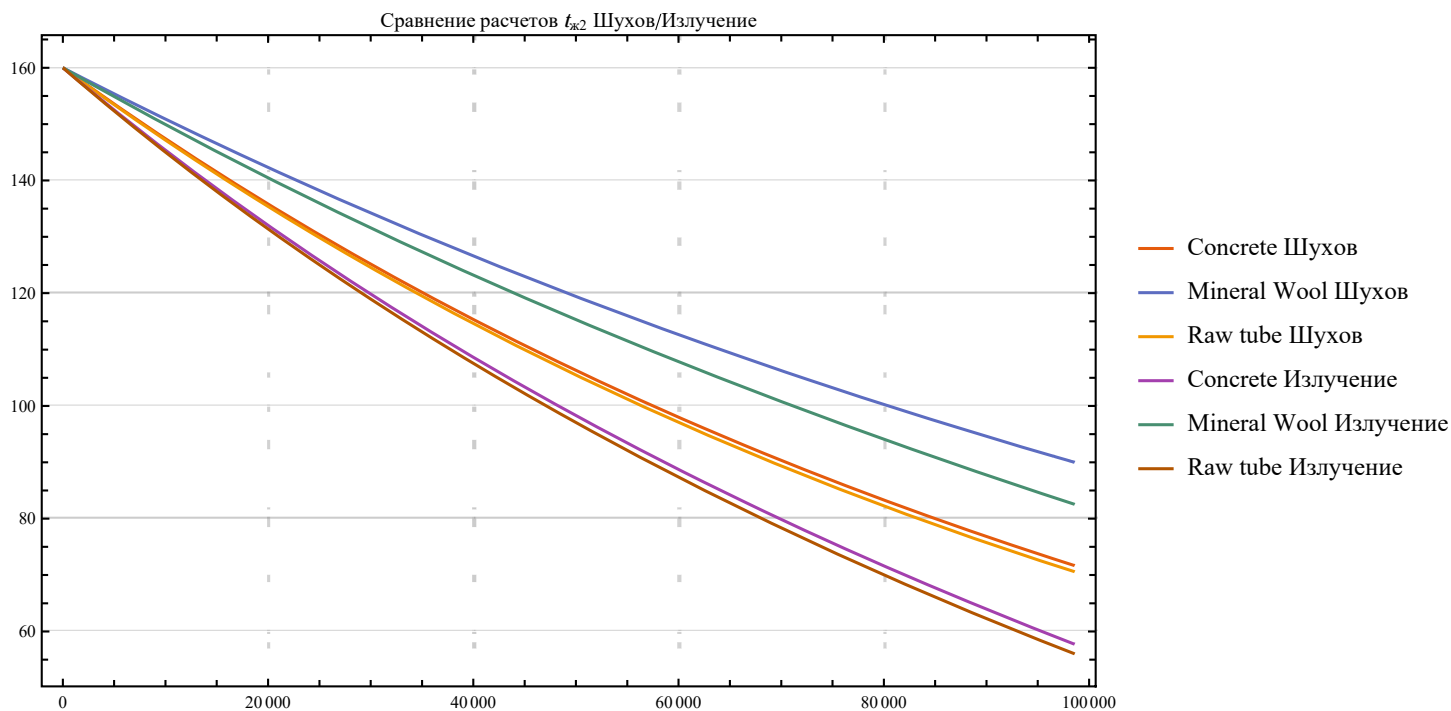
In[179]:=

```

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[179]=

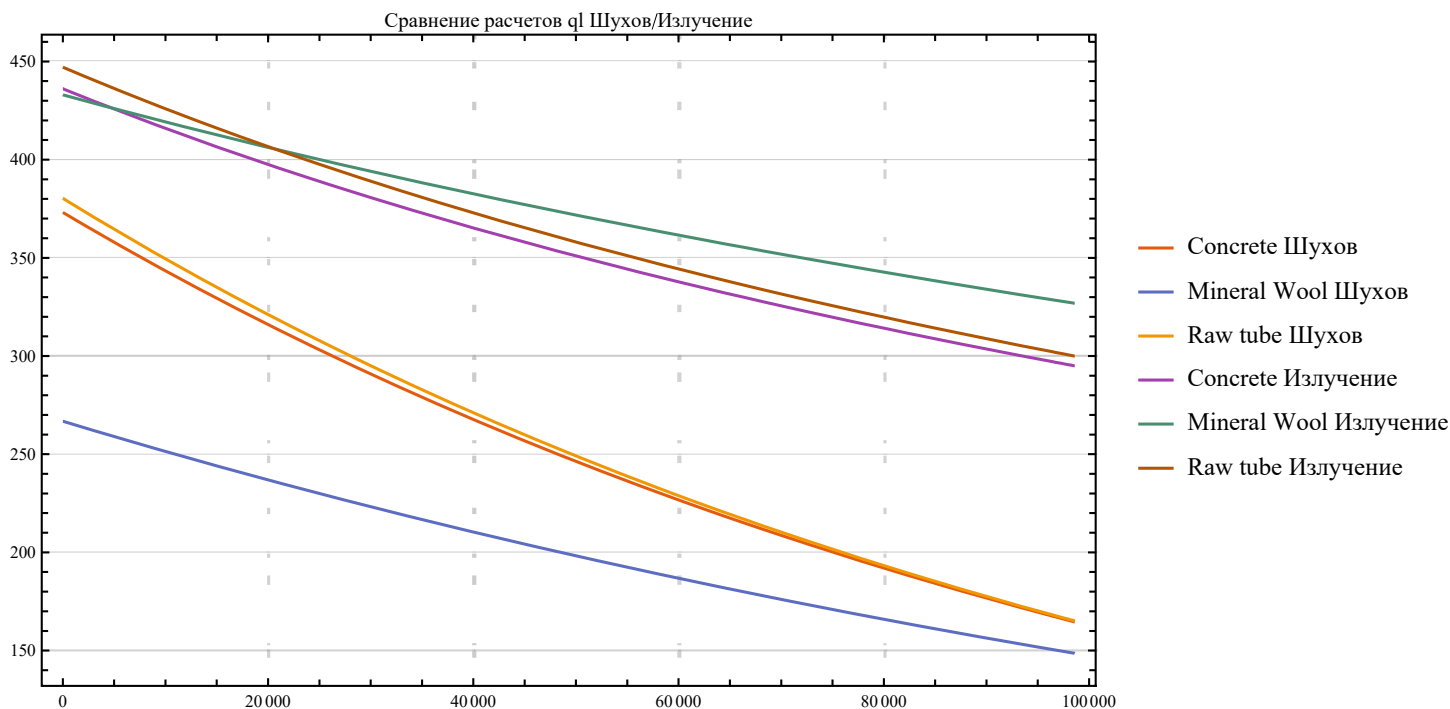


## Сравним расчеты линейной плотности потоков тепла/излучения(Шухов/Излучение):

In[180]:=

```
Plot[{qLinear[x, KlinearConcrete], qLinear[x, KlinearMinWool], qLinear[x, KlinearRaw],
  qLinearRadiationConcrete[x], qLinearRadiationMinWool[x], qLinearRadiationWithoutIns[x]},
  {x, 0, L}, PlotLabel → "Сравнение расчетов ql 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[180]=



Соберем все результаты выше воедино.

Способ основанный на формуле Шухова.

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

In[181]:=

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

Out[181]=

```
71.683634
```

In[182]:=

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

Out[182]=

```
90.
```

In[183]:=

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

Out[183]=

```
70.588194
```

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

In[184]:=

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

Out[184]=

```
 $1.6225054 \times 10^7$ 
```

In[185]:=

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

Out[185]=

```
 $1.4648668 \times 10^7$ 
```

KK[184]:=N°1 KA.nb

Q[L, KlinearRaw]

Out[186]=

$1.6279101 \times 10^7$

Способ основанный на методе баланса энергии.

Температуры жидкости на выходе( $^{\circ}\text{C}$ ):(порядок:бетон,вата,без изоляции). Очевидно что способ плохо работает. Там уже лед вытекает будто при таком расчете.

In[187]:=

tLiquid2asVariable[KlinearConcrete, Ladditional]

Out[187]=

70.034268

In[188]:=

tLiquid2asVariable[KlinearMinWool, Ladditional]

Out[188]=

90.

In[189]:=

tLiquid2asVariable[KlinearRaw, Ladditional]

Out[189]=

68.795517

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

In[190]:=

Qadditional[k\_, x\_] := qLinear[x, k] \* x;

In[191]:=

Qadditional[KlinearConcrete, Ladditional]

Out[191]=

$1.6137777 \times 10^7$

In[192]:=

Qadditional[KlinearMinWool, Ladditional]

Out[192]=

$1.447633 \times 10^7$

In[193]:=

Qadditional[KlinearRaw, Ladditional]

Out[193]=

$1.6198616 \times 10^7$

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

In[194]:=

tLiquid2RadiationVariable[MradConcrete, LwithRadiation]

Out[194]=

10.280419

In[195]:=

tLiquid2RadiationVariable[MradMinWool, LwithRadiation]

Out[195]=

40.133411

In[196]:=

tLiquid2RadiationVariable[MradWithoutIns, LwithRadiation]

Out[196]=

8.3240096

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

In[197]:=

QradConcrete[LwithRadiation]

Out[197]=

$4.2584008 \times 10^7$



```

In[198]:= QradMinWool[LwithRadiation]
Out[198]= 4.9869191 × 107

In[199]:= QradWithoutIns[LwithRadiation]
Out[199]= 4.314046 × 107

```

Найдем критический диаметр при бетонной и ватной изоляциях

```

In[200]:= d2 // N
           |численное приближение
Out[200]= 0.14

In[201]:= dCriticalConcrete = d2 +  $\frac{2 \lambda_{\text{Concrete}}}{\alpha}$ 
Out[201]= 0.34

In[202]:= dCriticalMinWool = d2 +  $\frac{2 \lambda_{\text{MinWool}}}{\alpha}$ 
Out[202]= 0.14909091

```

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