

Задача 1.

В три стальные трубы ($d_2 \times \delta = 130 \times 4$ мм), расположенные на открытом воздухе с температурой 10°C поступает горячая вода при температуре 110°C и давлении 5 МПа, которая движется со скоростью 21 км/ч. Первая труба покрыта слоем минеральной ваты толщиной 50 мм имеющая коэффициент теплопроводности $0,045 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$. Определить длину трубы если на выходе из нее температура воды уменьшилась на 30°C . Определить температуры воды на выходе из трубы покрытую слоем бетона толщиной 50 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 $9,6 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$. Коэффициент теплоотдачи от воды к внутренней стороне трубы равен $9,6 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$. Построить графики $t_{ж}(x)$, $q_L(x)$, $q_c(x)$ для обеих способов расчета. Сравнить тепловой поток потерь трубопроводов Q для обоих 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.

Данные из условия:

$d_2 = 130(\text{mm})$; $\delta = 4(\text{mm})$ - геометрия труб ; $t_{\text{Air}} = 10 (^\circ\text{C})$ - температура воздуха; $t_{\text{Liquid1}} = 110 (^\circ\text{C})$ - температура горячей воды на входе (как $t_{ж1}$) ; $p = 5(\text{МПа})$ - давление горячей воды; $w = 21(\text{km/h})$ - скорость течения горячей воды;
 $\lambda_{\text{MinWool}} = 0.045(\text{W/m}\cdot\text{K})$; $\delta_{\text{MinWool}} = 50(\text{mm})$;
 $t_{\text{Liquid2}} = 110 - 30 = 80 (^\circ\text{C})$ - температура горячей воды на выходе (как $t_{ж2}$) ; $\lambda_{\text{Concrete}} = 1.1(\text{W/m}\cdot\text{K})$; $\delta_{\text{Concrete}} = 50(\text{mm})$; $\epsilon = 0.8$ - излучательная способность поверхности материала труб; $\alpha = 9.6 (\text{W} / \text{m}^2 \text{K})$ - коэффициент теплоотдачи

```
In[1]:= d2 = 130 * 10-3;
        delta = 4 * 10-3;
        tAir = 10;
        tLiquid1 = 110;
        p = 5 * 106;
        w = 21 / 3.6;
        lambdaMinWool = 0.045;
        deltaMinWool = 50 * 10-3;
        tLiquid2 = 80;
        lambdaConcrete = 1.1;
        deltaConcrete = 50 * 10-3;
        epsilon = 0.8;
        alpha = 9.6;
```

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

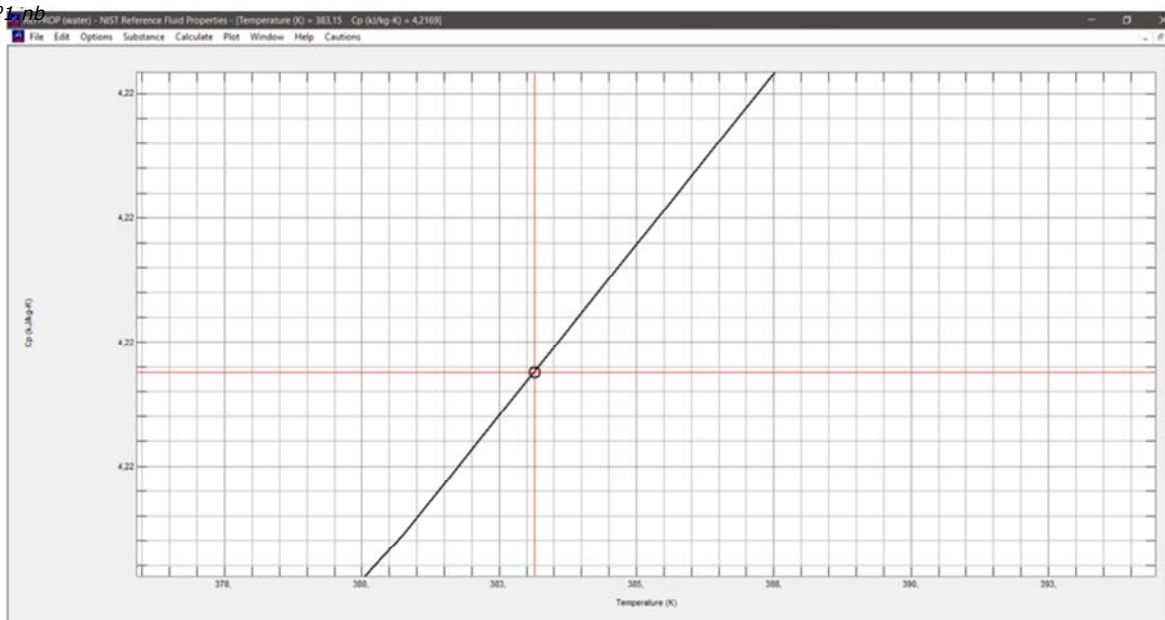
```
In[4]:= lambdaSteel = 14.4 ;
```

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

cp:

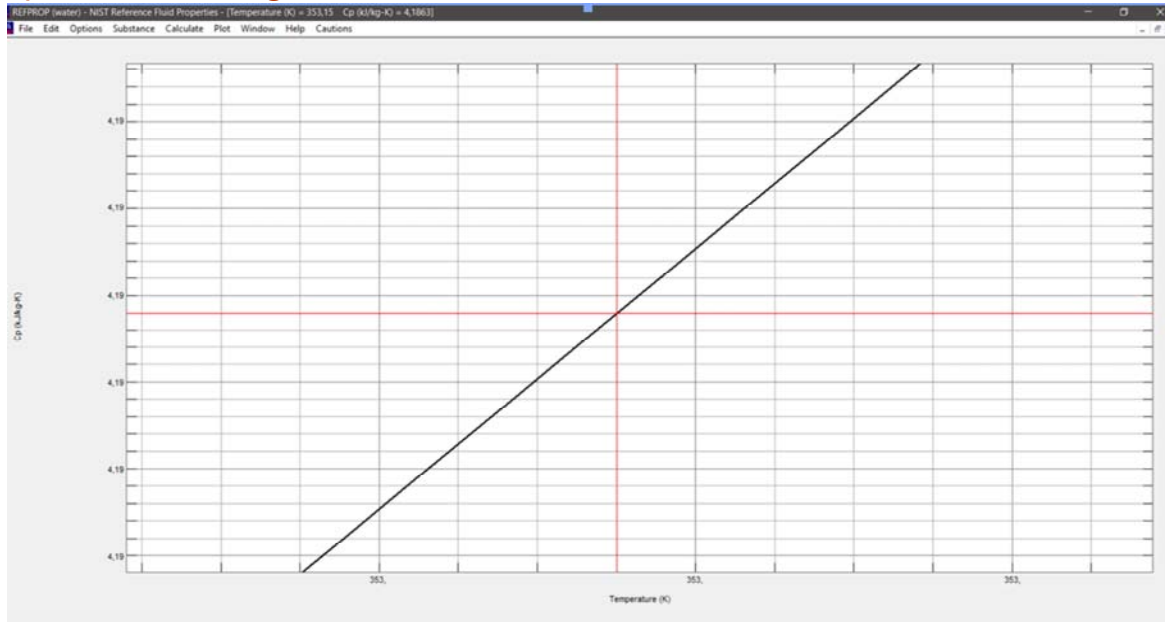
$t_{\text{Liquid1}} = 110 (^\circ\text{C})$

$cp1 = 4.2169 (\text{kJ/kg}\cdot\text{K})$



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

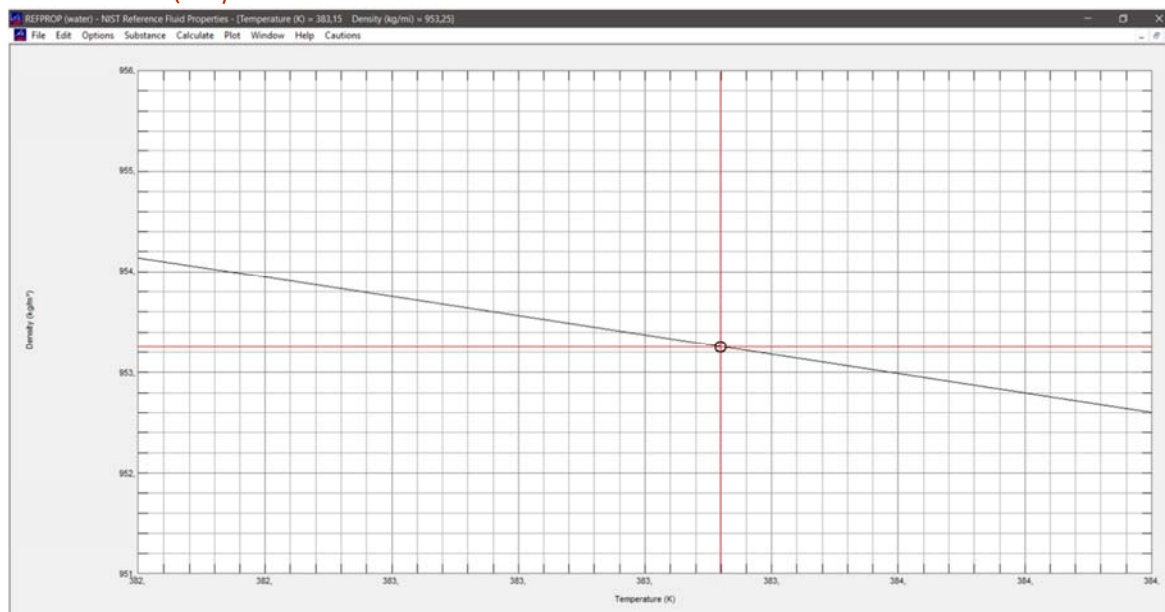
$cp_2=4.1863\text{ (kJ/kg K)}$



ПЛОТНОСТЬ:

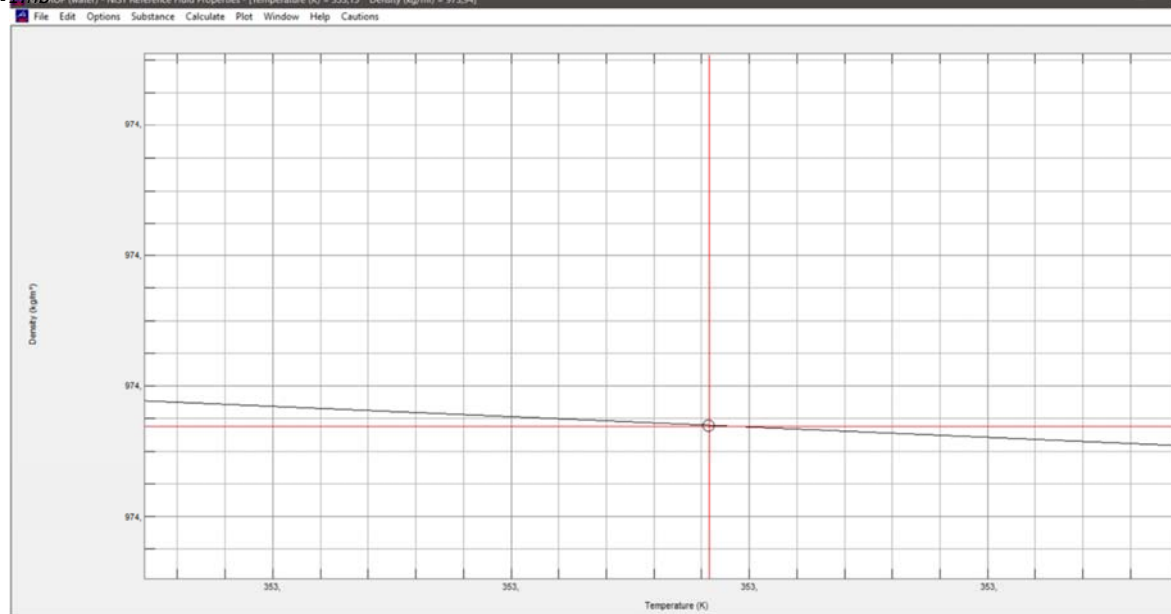
$t_{\text{Liquid1}}=110\text{ (}^{\circ}\text{C)}$

$\rho_1=953.25\text{ (kg/m}^3\text{)}$



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

$\rho_2=973.94\text{ (kg/m}^3\text{)}$



In[5]:= **cp1 = 4.2169; cp2 = 4.1863 ; ρ 1 = 953.25; ρ 2 = 973.94 ;**

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

$$In[6]:= cp_{Average} = \frac{cp1 + cp2}{2}$$

Out[6]= 4.2016

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

$$In[7]:= \rho_{Average} = \frac{\rho1 + \rho2}{2}$$

Out[7]= 963.595

Массовый расход воды $G(kg/s)$

$$In[8]:= G = \pi * \left(\frac{d2 - 2 * \delta}{2} \right)^2 * w * \rho_{Average}$$

Out[8]= 65.708397

Найдем диаметры $d1, d3 (m)$

$$In[9]:= d1 = d2 - 2 * \delta // N$$

численное n

Out[9]= 0.122

$$In[10]:= d3 = d2 + 2 * \delta // N$$

численное n

Out[10]=

0.138

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

$$In[11]:= K_{linearMinWool} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha * d1} + \frac{1}{2 * \lambda_{Steel}} * \text{Log} \left[\frac{d2}{d1} \right] + \frac{1}{2 * \lambda_{MinWool}} * \text{Log} \left[\frac{d3}{d2} \right] + \frac{1}{\alpha * d3}}$$

Out[11]=

0.43967477

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:

$$In[12]:= First \left[\text{NSolve} \left[t_{Liquid2} == t_{Air} + (t_{Liquid1} - t_{Air}) * \text{Exp} \left[\frac{-K_{linearMinWool}}{G * cp_{Average}} * \pi * x \right], x \right] \right]$$

первый численное решение уравнений

показательный коэффициент

Out[12]=

{x → 71.289696}

Таким образом длина трубы равна $71.289696m$

$$In[13]:= L = 71.289696;$$

Найдем линейный коэффициент теплопередачи для трубы с бетонной изоляцией $K_{linearConcrete} (W/m\ K)$

$$In[14]:= K_{linearConcrete} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha * d1} + \frac{1}{2 * \lambda_{Steel}} * \text{Log} \left[\frac{d2}{d1} \right] + \frac{1}{2 * \lambda_{Concrete}} * \text{Log} \left[\frac{d3}{d2} \right] + \frac{1}{\alpha * d3}}$$

Out[14]=

0.61049819

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

```
In[15]:= t[x_, k_] := tAir + (tLiquid1 - tAir) * Exp[
$$\frac{-k}{G + c\rho\text{Average}} * \pi * x$$
]
[показательная функция]
```

```
In[16]:= t[L, KlinearConcrete]
```

```
Out[16]=
70.941787
```

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

```
In[17]:= KlinearRaw = 
$$\frac{1}{\frac{1}{\alpha*d1} + \frac{1}{2*\lambda\text{Steel}} * \text{Log}\left[\frac{d2}{d1}\right] + \frac{1}{\alpha*d3}}$$

```

```
Out[17]=
0.62078588
```

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

```
In[18]:= t[L, KlinearRaw]
```

```
Out[18]=
70.435306
```

Функция теплового потока и плотности теплового потока :

```
In[19]:= Q[x_, k_] := k *  $\pi$  * (t[x, k] - tAir) * x;
qLinear[x_, k_] := k *  $\pi$  * (t[x, k] - tAir);
```

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

```
In[21]:= Q[L, KlinearRaw]
```

```
Out[21]=
8402.513
```

```
In[22]:= qLinear[L, KlinearRaw]
```

```
Out[22]=
117.86434
```

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

```
In[23]:= Q[L, KlinearConcrete]
```

```
Out[23]=
8332.5169
```

```
In[24]:= qLinear[L, KlinearConcrete]
```

```
Out[24]=
116.88249
```

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

```
In[25]:= Q[L, KlinearMinWool]
```

```
Out[25]=
6892.9673
```

```
In[26]:= qLinear[L, KlinearMinWool]
```

```
Out[26]=
96.689532
```

Произведем расчеты по другому:

```
In[27]:= qLinearAdditional[k_] := k *  $\pi$  *  $\left(\frac{t\text{Liquid1} + t\text{Liquid2}}{2} - t\text{Air}\right)$ 
```

Запишем баланс энергий:

$$Q = q_{\text{Linear}} * L = G * c_{\text{pAverage}} * (t_{\text{Liquid1}} - t_{\text{Liquid2}}) = \pi$$

$$* \left(\frac{d1}{2}\right)^2 * w * c_{\text{pAverage}} * \rho_{\text{Average}} * (t_{\text{Liquid1}} - t_{\text{Liquid2}}), \text{отсюда можно найти } L:$$

In[28]:= **NSolve**[**qLinearAdditional**[**KlinearMinWool**] * x == $\pi * \left(\frac{d1}{2}\right)^2 * w * c_{\text{pAverage}} * \rho_{\text{Average}} * (t_{\text{Liquid1}} - t_{\text{Liquid2}})$, x]
[численное решение уравнений]

Out[28]=
{ {x → 70.543417} }

Таким образом длина трубы по этому способу равна $L_{\text{additional}}(m)$

In[29]:= **Ladditional** = 70.543417;

Выразим t_{Liquid2} из линейной плотности теплового потока как переменную :

In[30]:= **Solve**[$k * \pi * \left(\frac{t_{\text{Liquid2asVariable}} + t_{\text{Liquid1}}}{2} - t_{\text{Air}}\right) * x ==$
[решить уравнения]
 $\pi * \left(\frac{d1}{2}\right)^2 * w * c_{\text{pAverage}} * \rho_{\text{Average}} * (t_{\text{Liquid1}} - t_{\text{Liquid2asVariable}})$, $t_{\text{Liquid2asVariable}}$]

Out[30]=
{ {tLiquid2asVariable → $\frac{30368.844 - 141.37167 k x}{276.0804 + 1.5707963 k x}$ } }

In[31]:= **tLiquid2asVariable**[k_, x_] := $\frac{30368.844 - 141.37167 * k * x}{276.0804 + 1.5707963 * k * x}$

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

Бетонная изоляция:

In[32]:= **tLiquid2asVariable**[**KlinearConcrete**, **Ladditional**]

Out[32]=
70.638269

Голая труба:

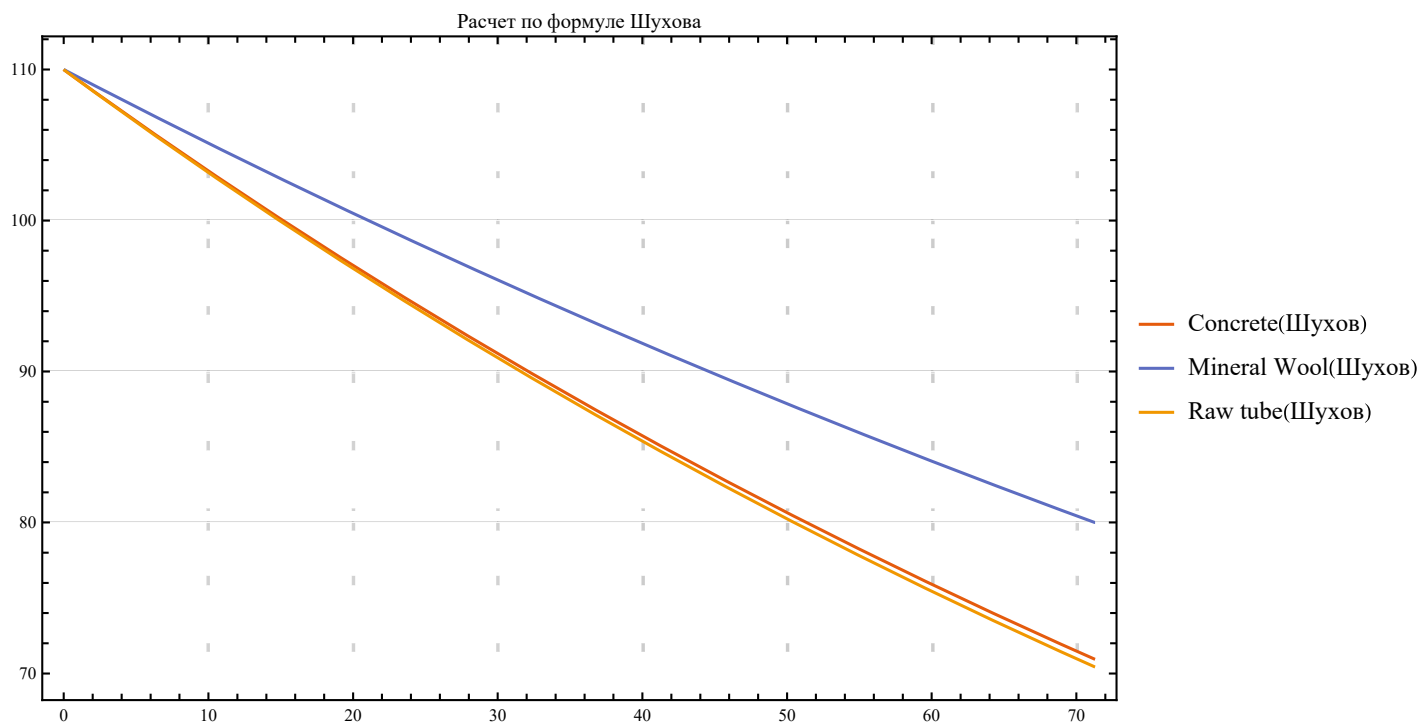
In[33]:= **tLiquid2asVariable**[**KlinearRaw**, **Ladditional**]

Out[33]=
70.107276

Изобразим функциональные зависимости температуры жидкости в точке χ , где χ -обобщенное расстояние(длина трубы)

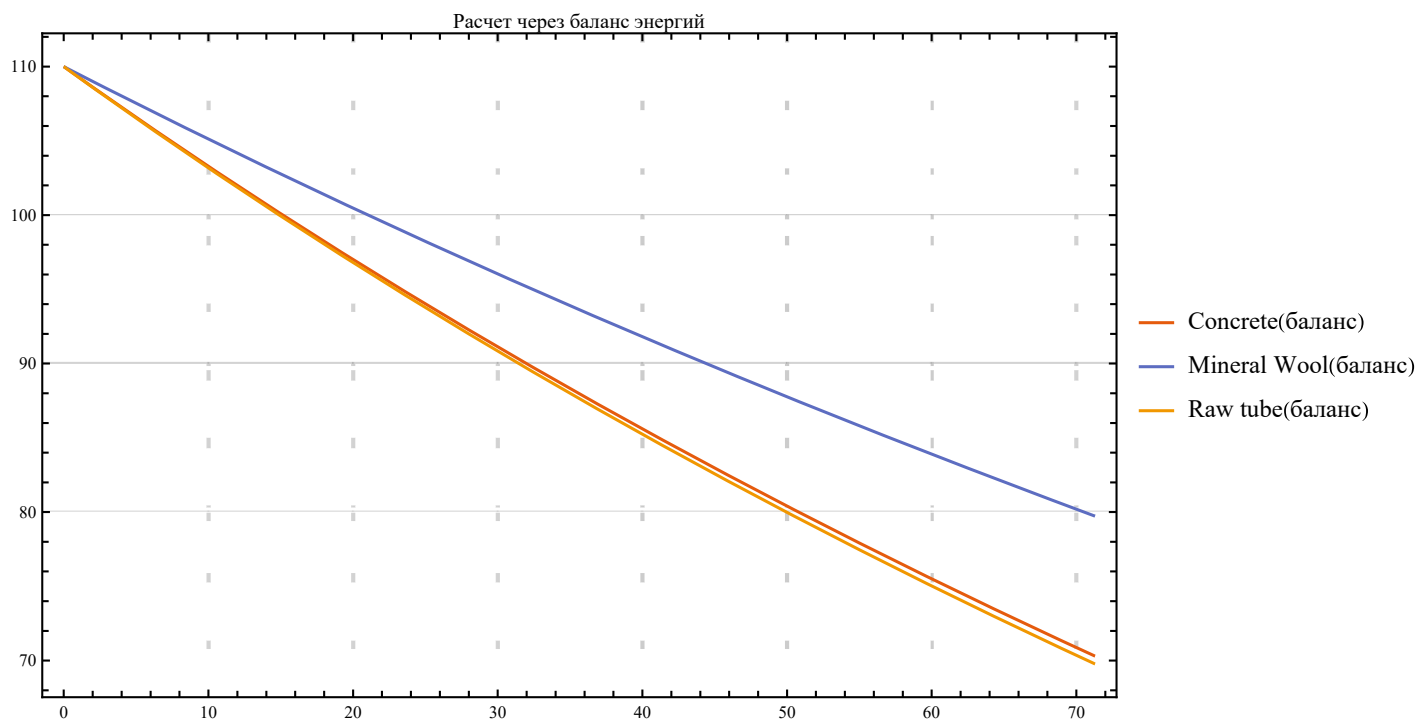
```
In[34]:= Plot[{t[ $\chi$ , KlinearConcrete], t[ $\chi$ , KlinearMinWool], t[ $\chi$ , KlinearRaw]},
[график функции]
{ $\chi$ , 0, L}, PlotLabel → "Расчет по формуле Шухова", PlotTheme → "Scientific",
[пометка графика] [тематический стиль графика]
PlotLegends → {"Concrete(Шухов)", "Mineral Wool(Шухов)", "Raw tube(Шухов)"},
[легенды графика]
ImageSize → Large, GridLines → Automatic]
[размер изоб...] [круп...] [линии коорд...] [автоматический]
```

Out[34]=



```
In[35]:= Plot[{tLiquid2asVariable[KlinearConcrete,  $\chi$ ], tLiquid2asVariable[KlinearMinWool,  $\chi$ ],
[график функции]
tLiquid2asVariable[KlinearRaw,  $\chi$ ]}, { $\chi$ , 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]
```

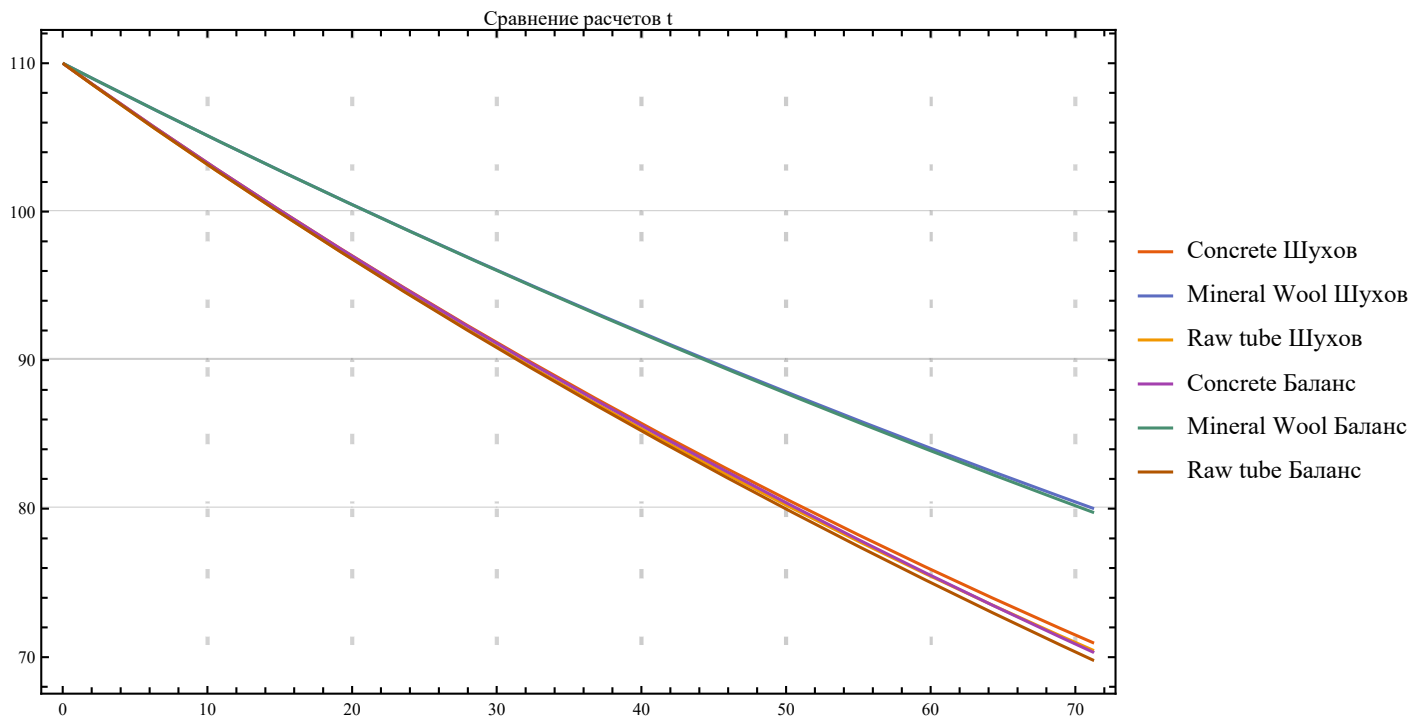
Out[35]=



Сопоставим функции температур в одной системе координат:

```
In[36]:= Plot[{t[x, KlinearConcrete], t[x, KlinearMinWool],
  график функции
  t[x, KlinearRaw], tLiquid2asVariable[KlinearConcrete, x],
  tLiquid2asVariable[KlinearMinWool, x], tLiquid2asVariable[KlinearRaw, x]},
  {x, 0, L}, PlotLabel → "Сравнение расчетов t", PlotTheme → "Scientific",
  пометка 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[36]=



Точно так же изобразим функции линейных плотностей тепловых потоков.

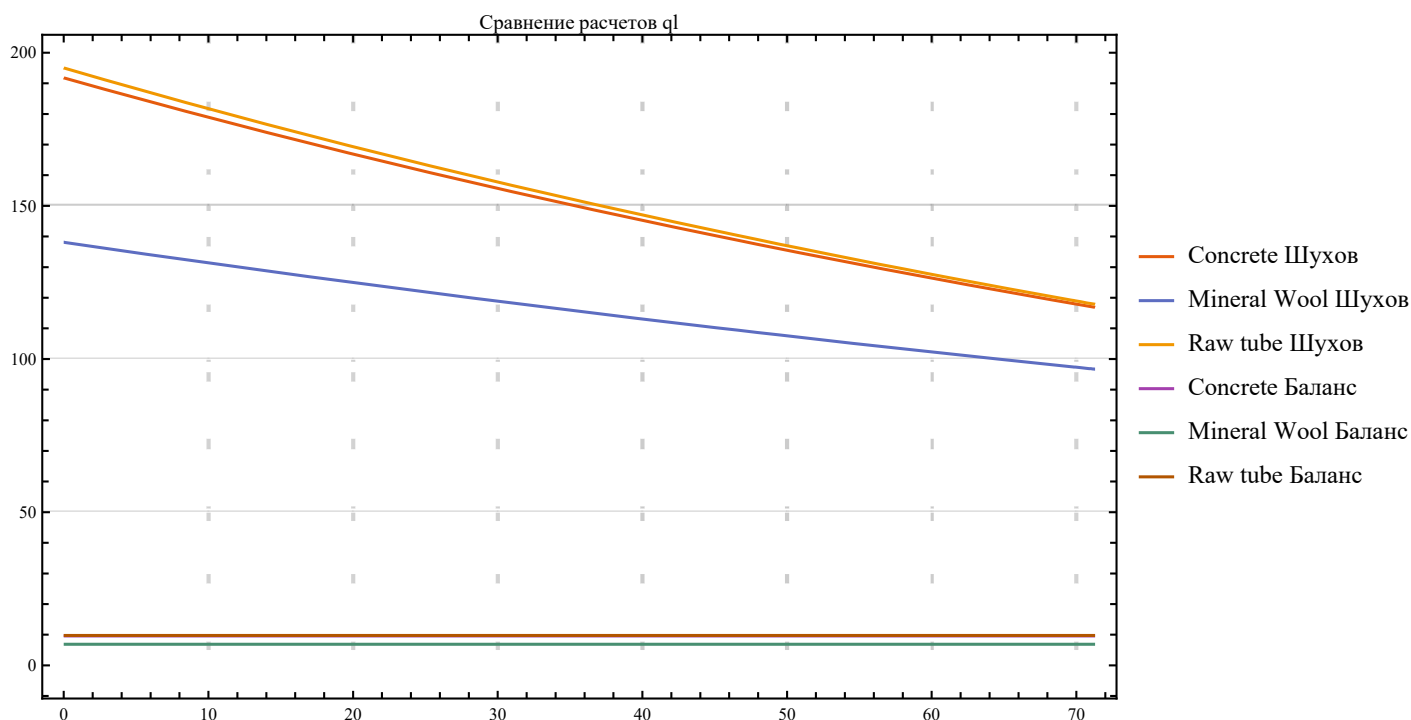
Для начала введем функцию линейной плотности теплового потока при расчете методом баланса энергий:

```
In[37]:= 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[38]:= Plot[{qLinear[x, KlinearConcrete], qLinear[x, KlinearMinWool],
  график функции
  qLinear[x, KlinearRaw], qLinearAdditionalFunction[KlinearConcrete],
  qLinearAdditionalFunction[KlinearMinWool], qLinearAdditionalFunction[KlinearRaw]},
  {x, 0, L}, PlotLabel -> "Сравнение расчетов ql", 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[38]=



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

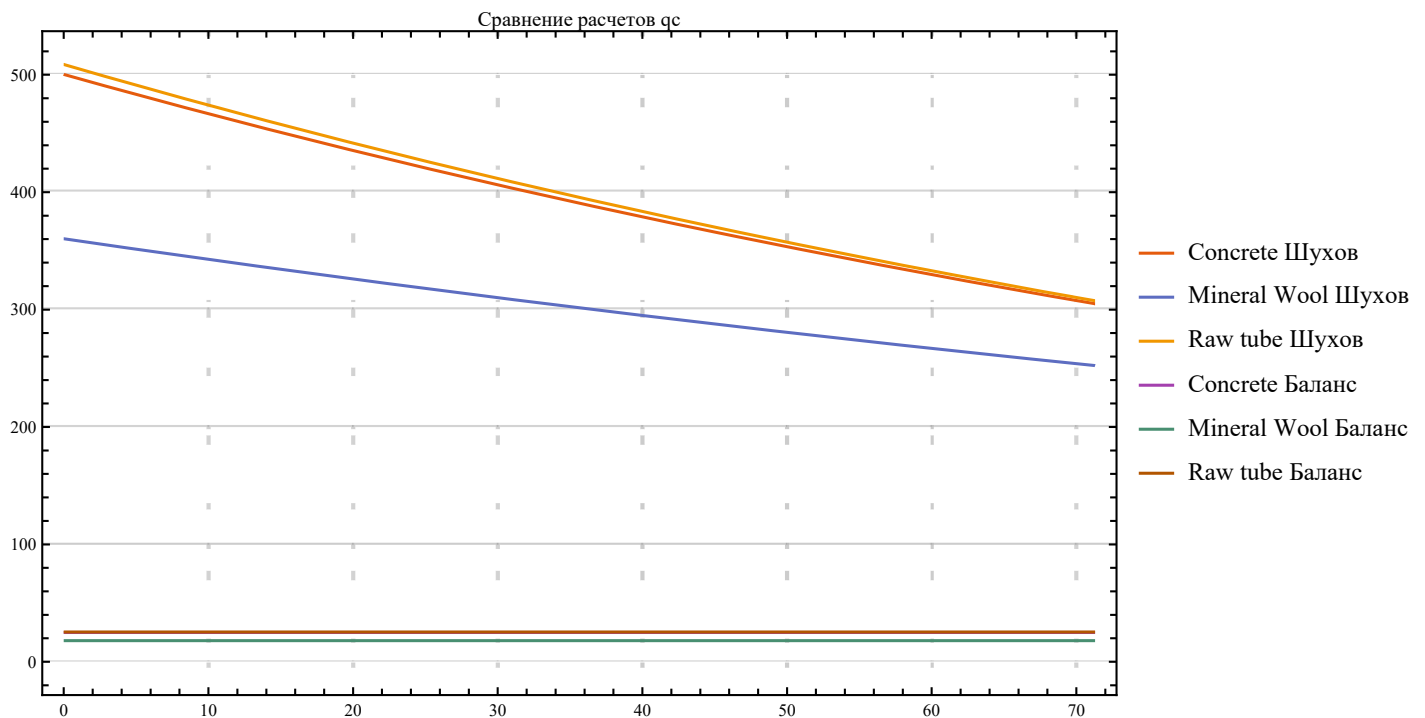
```
In[39]:= qcShuhov[x_, k_] :=  $\frac{qLinear[x, k]}{\pi * d1}$ ; qcBalance[k_] :=  $\frac{qLinearAdditionalFunction[k]}{\pi * d1}$ ;
```

```

In[40]:= 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[40]=



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

```

In[41]:= qLinearAverageWithoutInsulation =  $\frac{qLinear[0, KlinearRaw] + qLinear[L, KlinearRaw]}{2}$ 

```

Out[41]=

156.44499

```

In[42]:= qLinearAverageConcreteInsulation =  $\frac{qLinear[0, KlinearConcrete] + qLinear[L, KlinearConcrete]}{2}$ 

```

Out[42]=

154.33807

```

In[43]:= qLinearAverageMinWoolInsulation =  $\frac{qLinear[0, KlinearMinWool] + qLinear[L, KlinearMinWool]}{2}$ 

```

Out[43]=

117.40872

Среднее значение температуры на поверхности труб:

```

In[44]:= NSolve[{qLinearAverageWithoutInsulation ==  $\pi * \frac{twWithoutIns - tAir}{\frac{1}{\alpha * d2}}$ ,
  численное решение уравнений
  qLinearAverageConcreteInsulation ==  $\pi * \frac{twConcreteIns - tAir}{\frac{1}{\alpha * d3}}$ ,
  qLinearAverageMinWoolInsulation ==  $\pi * \frac{twMinWoolIns - tAir}{\frac{1}{\alpha * d3}}$ }, {twWithoutIns, twConcreteIns, twMinWoolIns}]

```

Out[44]=

```

{{twWithoutIns → 49.902233, twConcreteIns → 47.082831, twMinWoolIns → 38.209809}}

```

```

In[45]:= twWithoutIns = 49.902233; twConcreteIns = 47.0828314; twMinWoolIns = 38.209809;

```

Учетом излучение

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

```
In[46]:=  $\sigma = 5.671 \cdot 10^{-8};$ 
```

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

```
In[47]:= 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[48]:=  $E_{resMinWool} = \epsilon * \sigma * (TwMinWoolIns^4 - Tair^4)$ 
```

```
Out[48]=
134.76391
```

```
In[49]:=  $E_{resConcrete} = \epsilon * \sigma * (TwConcreteIns^4 - Tair^4)$ 
```

```
Out[49]=
185.48494
```

```
In[50]:=  $E_{resWithoutIns} = \epsilon * \sigma * (TwWithoutIns^4 - Tair^4)$ 
```

```
Out[50]=
202.51026
```

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

```
In[51]:=  $\alpha_{EqvMinWool} = \frac{E_{resMinWool}}{TwMinWoolIns - Tair}$ 
```

```
Out[51]=
4.7772003
```

```
In[52]:=  $\alpha_{EqvConcrete} = \frac{E_{resConcrete}}{TwConcreteIns - Tair}$ 
```

```
Out[52]=
5.0019089
```

```
In[53]:=  $\alpha_{EqvWithoutIns} = \frac{E_{resWithoutIns}}{TwWithoutIns - Tair}$ 
```

```
Out[53]=
5.0751612
```

```
In[54]:=  $M_{radMinWool} = \frac{1}{\alpha * d1} + \frac{1}{2 * \lambda_{Steel}} * \text{Log}\left[\frac{d2}{d1}\right] + \frac{1}{2 * \lambda_{MinWool}} * \text{Log}\left[\frac{d3}{d2}\right] + \frac{1}{(\alpha + \alpha_{EqvMinWool}) * d3}$ 
```

```
Out[54]=
2.0235961
```

```
In[55]:=  $M_{radConcrete} = \frac{1}{\alpha * d1} + \frac{1}{2 * \lambda_{Steel}} * \text{Log}\left[\frac{d2}{d1}\right] + \frac{1}{2 * \lambda_{Concrete}} * \text{Log}\left[\frac{d3}{d2}\right] + \frac{1}{(\alpha + \alpha_{EqvConcrete}) * d3}$ 
```

```
Out[55]=
1.3794379
```

```
In[56]:=  $M_{radWithoutIns} = \frac{1}{\alpha * d1} + \frac{1}{2 * \lambda_{Steel}} * \text{Log}\left[\frac{d2}{d1}\right] + \frac{1}{(\alpha + \alpha_{EqvWithoutIns}) * d3}$ 
```

```
Out[56]=
1.3498156
```

$$\text{In[57]:= } P = \left(\frac{d1}{2} \right)^2 * w * \rho_{\text{Average}} * cp_{\text{Average}}$$

Out[57]=
87.879121

$$\text{In[58]:= } t_{\text{Liquid2RadiationVariable}}[M_ , x_] := \frac{2 * P * M * t_{\text{Liquid1}} + 2 * t_{\text{Air}} * x - t_{\text{Liquid1}} * x}{x + 2 * P * M}$$

Линейная плотность потока излучения для трубы с ватной изоляцией:

$$\text{In[59]:= } q_{\text{LinearRadiationMinWool}}[x_] := \pi * \frac{\left(\frac{t_{\text{Liquid1}} + t_{\text{Liquid2RadiationVariable}}[MradMinWool, x]}{2} - t_{\text{Air}} \right)}{\frac{1}{\alpha * d1} + \frac{1}{2 * \lambda_{\text{Steel}}} * \text{Log} \left[\frac{d2}{d1} \right] + \frac{1}{2 * \lambda_{\text{Concrete}}} * \text{Log} \left[\frac{d3}{d2} \right] + \frac{1}{(\alpha + \alpha_{\text{EqvMinWool}}) * d3}}$$

Из баланса энергий найдем длину трубы:

$$\text{In[60]:= } \text{NSolve} \left[\frac{\left(\frac{t_{\text{Liquid1}} + t_{\text{Liquid2}}}{2} - t_{\text{Air}} \right)}{\frac{1}{\alpha * d1} + \frac{1}{2 * \lambda_{\text{Steel}}} * \text{Log} \left[\frac{d2}{d1} \right] + \frac{1}{2 * \lambda_{\text{Concrete}}} * \text{Log} \left[\frac{d3}{d2} \right] + \frac{1}{(\alpha + \alpha_{\text{EqvMinWool}}) * d3}} * \text{Len} == \right.$$

$$\left. \pi * \left(\frac{d1}{2} \right)^2 * w * \rho_{\text{Average}} * cp_{\text{Average}} * (t_{\text{Liquid1}} - t_{\text{Liquid2}}), \text{Len} \right]$$

Out[60]=
{ { Len → 135.1684 } }

Если учитывать излучение тогда длина трубы будет другой(m):

$$\text{In[61]:= } L_{\text{withRadiation}} = 135.1683998;$$

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

$$\text{In[62]:= } q_{\text{LinearRadiationMinWool}}[L_{\text{withRadiation}}]$$

Out[62]=
164.10401

Для трубы без изоляции : (W / m²)

$$\text{In[63]:= } q_{\text{LinearRadiationWithoutIns}}[x_] := \pi * \frac{\left(\frac{t_{\text{Liquid1}} + t_{\text{Liquid2RadiationVariable}}[MradWithoutIns, x]}{2} - t_{\text{Air}} \right)}{\frac{1}{\alpha * d1} + \frac{1}{2 * \lambda_{\text{Steel}}} * \text{Log} \left[\frac{d2}{d1} \right] + \frac{1}{(\alpha + \alpha_{\text{EqvWithoutIns}}) * d3}}$$

$$\text{In[64]:= } q_{\text{LinearRadiationWithoutIns}}[L_{\text{withRadiation}}]$$

Out[64]=
148.26706

$$\text{In[65]:= } t_{\text{Liquid2RadiationVariableWithoutIns}} = t_{\text{Liquid2RadiationVariable}}[MradWithoutIns, L_{\text{withRadiation}}]$$

Out[65]=
37.40875

Для трубы с изоляцией из бетона:

$$\text{In[66]:= } q_{\text{LinearRadiationConcrete}}[x_] := \pi * \frac{\left(\frac{t_{\text{Liquid1}} + t_{\text{Liquid2RadiationVariable}}[MradConcrete, x]}{2} - t_{\text{Air}} \right)}{\frac{1}{\alpha * d1} + \frac{1}{2 * \lambda_{\text{Steel}}} * \text{Log} \left[\frac{d2}{d1} \right] + \frac{1}{2 * \lambda_{\text{Concrete}}} * \text{Log} \left[\frac{d3}{d2} \right] + \frac{1}{(\alpha + \alpha_{\text{EqvConcrete}}) * d3}}$$

$$\text{In[67]:= } q_{\text{LinearRadiationConcrete}}[L_{\text{withRadiation}}]$$

Out[67]=
146.22284

$$\text{In[68]:= } t_{\text{Liquid2RadiationVariable}}[MradConcrete, L_{\text{withRadiation}}]$$

Out[68]=
38.409597

Рассчитаем потери теплоты:

```
In[69]:= QradConcrete[x_] := qLinearRadiationConcrete[x] * x;
QradMinWool[x_] := qLinearRadiationMinWool[x] * x;
QradWithoutIns[x_] := qLinearRadiationWithoutIns[x] * x;
```

Потери теплоты в трубе с бетонной изоляцией:(W)

```
In[72]:= QradConcrete[LwithRadiation]
```

```
Out[72]=
19 764.707
```

Потери теплоты в трубе с ватной изоляцией:(W)

```
In[73]:= QradMinWool[LwithRadiation]
```

```
Out[73]=
22 181.676
```

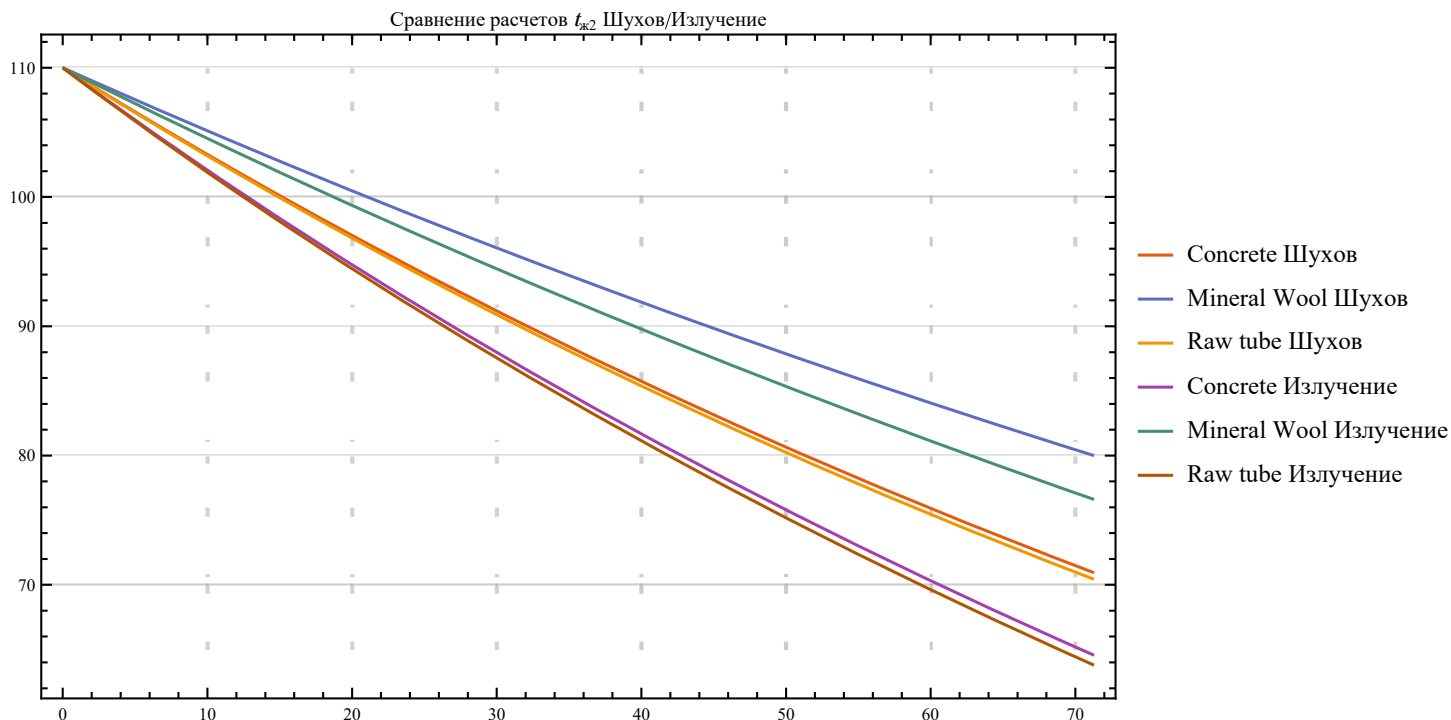
```
In[74]:= QradWithoutIns[LwithRadiation]
```

```
Out[74]=
20 041.021
```

Сравним расчеты температуры(Шухов/Излучение):

```
In[75]:= 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] [тематический стиль 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[75]=
```



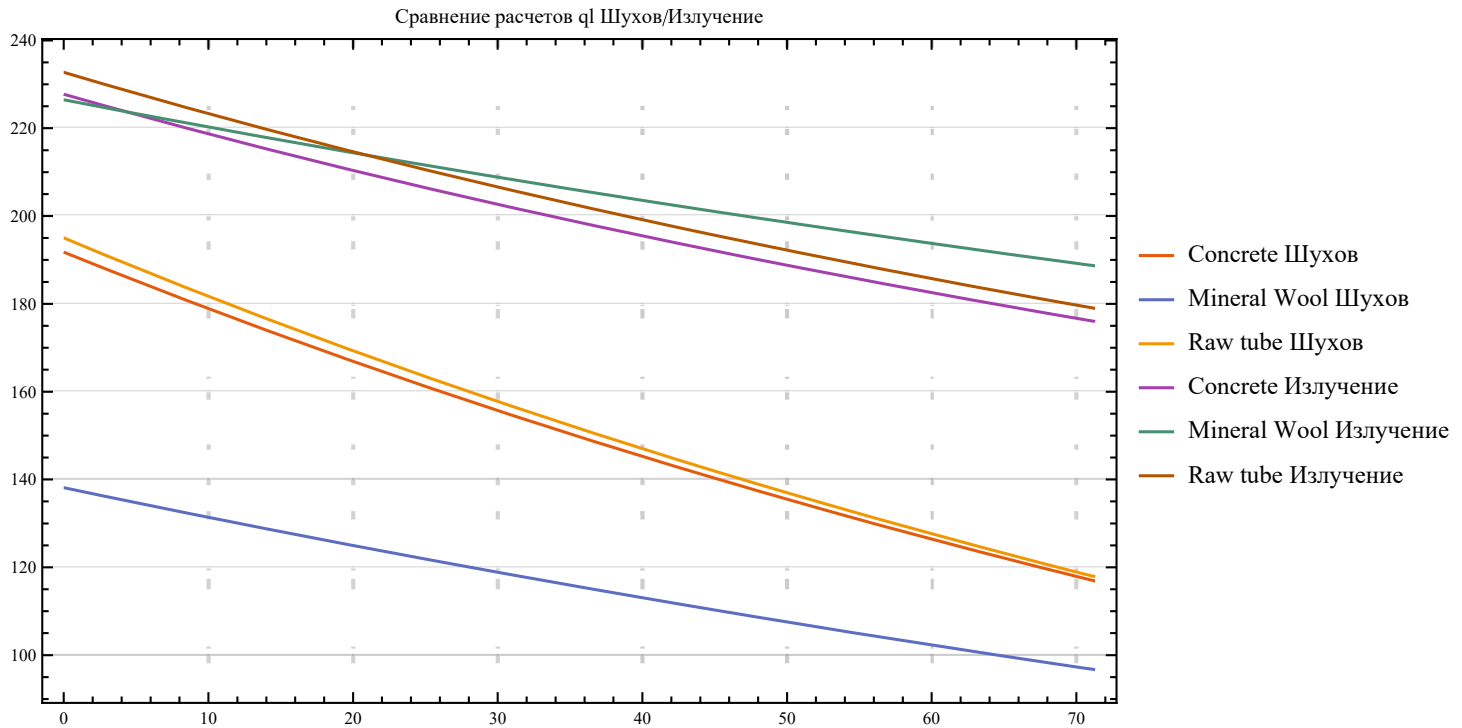
Сравним расчеты линейной плотности потоков тепла/излучения(Шухов/Излучение):

```

In[76]:= Plot[{qLinear[x, KlinearConcrete], qLinear[x, KlinearMinWool], qLinear[x, KlinearRaw],
  график функции
  qLinearRadiationConcrete[x], qLinearRadiationMinWool[x], qLinearRadiationWithoutIns[x]},
  {x, 0, L}, PlotLabel → "Сравнение расчетов q1 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[76]=



Соберем все результаты выше воедино.

Способ основанный на формуле Шухова.

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

```

In[77]:= t[L, KlinearConcrete]

```

Out[77]=

70.941787

```

In[78]:= t[L, KlinearMinWool]

```

Out[78]=

80.

```

In[79]:= t[L, KlinearRaw]

```

Out[79]=

70.435306

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

```

In[80]:= Q[L, KlinearConcrete]

```

Out[80]=

8332.5169

```

In[81]:= Q[L, KlinearMinWool]

```

Out[81]=

6892.9673

16 | №1.nb
In[82]:= Q[L, KlinearRaw]

Out[82]=
8402.513

Способ основанный на методе баланса энергии.

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

In[83]:= tLiquid2asVariable [KlinearConcrete, Ladditional]

Out[83]=
70.638269

In[84]:= tLiquid2asVariable [KlinearMinWool, Ladditional]

Out[84]=
80.

In[85]:= tLiquid2asVariable [KlinearRaw, Ladditional]

Out[85]=
70.107276

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

In[86]:= Qadditional [k_, x_] := qLinear [x, k] * x;

In[87]:= Qadditional [KlinearConcrete, Ladditional]

Out[87]=
8288.148

In[88]:= Qadditional [KlinearMinWool, Ladditional]

Out[88]=
6846.3249

In[89]:= Qadditional [KlinearRaw, Ladditional]

Out[89]=
8358.5015

Способ с учетом излучения. Температуры жидкости на выходе(°C):(порядок:бетон,вата,без изоляции)

In[90]:= tLiquid2RadiationVariable [MradConcrete, LwithRadiation]

Out[90]=
38.409597

In[91]:= tLiquid2RadiationVariable [MradMinWool, LwithRadiation]

Out[91]=
54.922755

In[92]:= tLiquid2RadiationVariable [MradWithoutIns, LwithRadiation]

Out[92]=
37.40875

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

In[93]:= QradConcrete [LwithRadiation]

Out[93]=
19 764.707

In[94]:= QradMinWool [LwithRadiation]

Out[94]=
22 181.676

In[95]:= QradWithoutIns [LwithRadiation]

Out[95]=
20 041.021

Найдем критический диаметр при бетонной и ватной изоляциях

In[96]:= **d2** // N

численное приближение

Out[96]=

0.13

In[97]:= **dCriticalConcrete** = **d2** + $\frac{2 \lambda_{\text{Concrete}}}{\alpha}$

Out[97]=

0.35916667

Мы не достигаем до критического диаметра и поэтому изоляция из бетона не эффективна.

In[98]:= **dCriticalMinWool** = **d2** + $\frac{2 \lambda_{\text{MinWool}}}{\alpha}$

Out[98]=

0.139375

Мы близки к критическому диаметру, но изоляция все равно не эффективна, ее нужно увеличить до критического, а потом и до эффективного диаметра для существенного уменьшения потерь.