

Задача 1.

В три стальные трубы ($d_2 \delta = 150 \times 5$ мм), расположенные на открытом воздухе с температурой -15°C поступает горячая вода при температуре 150°C и давлении 5 МПа, которая движется со скоростью 20 км/ч. Первая труба покрыта слоем минеральной ваты толщиной 25 мм имеющая коэффициент теплопроводности $0,035 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$. Определить длину трубы если на выходе из нее температура воды уменьшилась на 55°C . Определить температуры воды на выходе из трубы покрытую слоем бетона толщиной 25 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 $t_{\text{ж}}(x)$, $q_{\text{л}}(x)$, $q_{\text{с}}(x)$ для обоих 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:

$d_2 = 150(\text{мм})$; $\delta = 5(\text{мм})$ - геометрия труб ; $t_{\text{Air}} = -15 (^\circ\text{C})$ - температура воздуха; $t_{\text{Liquid1}} = 150(^\circ\text{C})$ - температура горячей воды на входе (как $t_{\text{ж1}}$) ; $p = 5(\text{МПа})$ - давление горячей воды; $w = 20(\text{км/ч})$ - скорость течения горячей воды;
 $\lambda_{\text{MinWool}} = 0.035(\text{Вт/м}\cdot\text{К})$; $\delta_{\text{MinWool}} = 25(\text{мм})$;
 $t_{\text{Liquid2}} = 150 - 55 = 95(^\circ\text{C})$ - температура горячей воды на выходе (как $t_{\text{ж2}}$) ; $\lambda_{\text{Concrete}} = 1.28(\text{Вт/м}\cdot\text{К})$; $\delta_{\text{Concrete}} = 25(\text{мм})$; $\epsilon = 0.8$ - излучательная способность поверхности материала труб; $\alpha = 12.8 (\text{Вт} / \text{м}^2 \text{ К})$ - коэффициент теплоотдачи

In[144]:=

```
d2 = 150 * 10-3;
δ = 5 * 10-3;
tAir = -15;
tLiquid1 = 150;
p = 5 * 106;
w = 20 / 3.6;
λMinWool = 0.035;
δMinWool = 25 * 10-3;
tLiquid2 = 95;
λConcrete = 1.28;
δConcrete = 25 * 10-3;
ε = 0.8;
α = 12.8;
```

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

In[147]:=

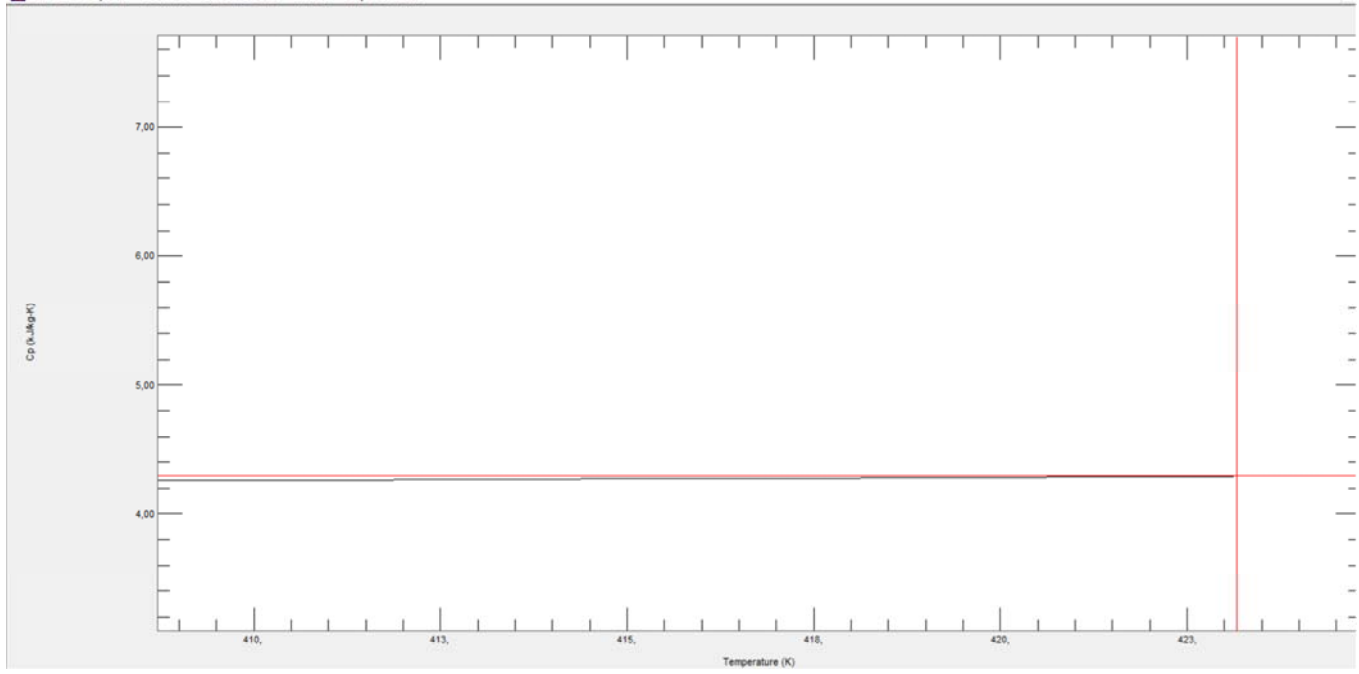
```
λSteel = 14.4 ;
```

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

ср:

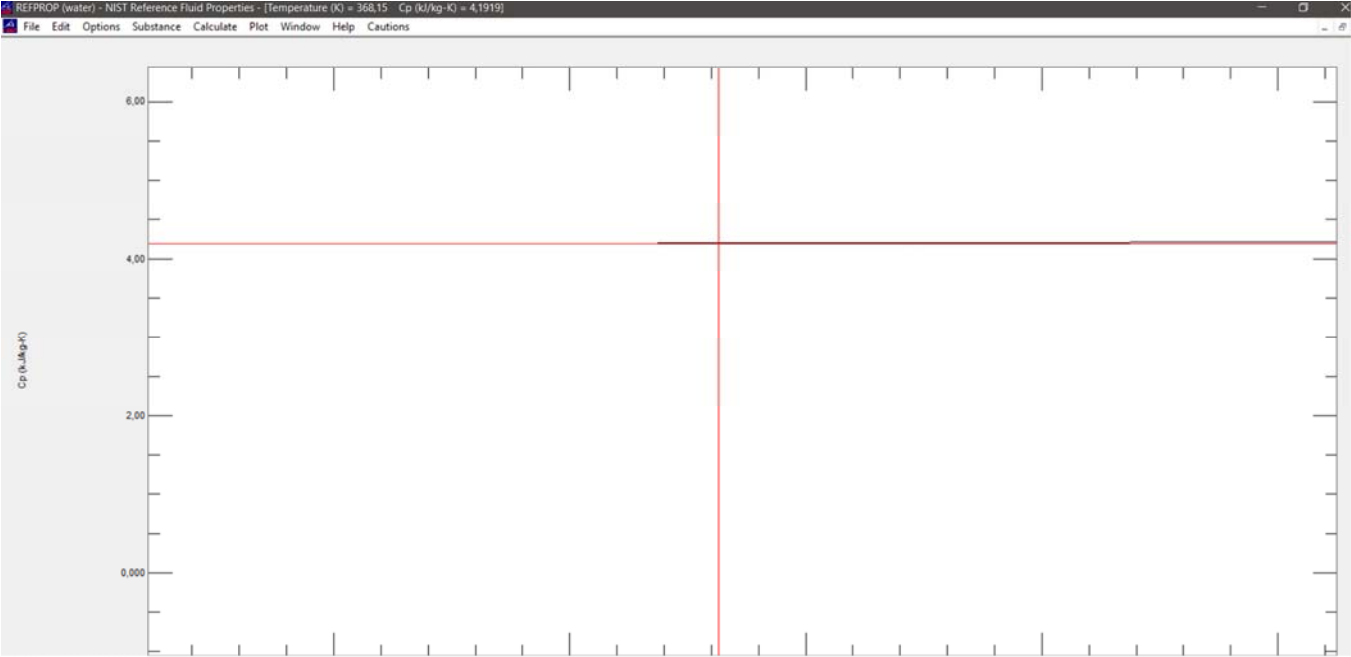
$t_{\text{Liquid1}} = 150 (^\circ\text{C}) = 423.15(\text{K})$

$c_{p1} = 4.3049 (\text{kJ/kg K})$



tLiquid2=95 (°C) =368.15(K)

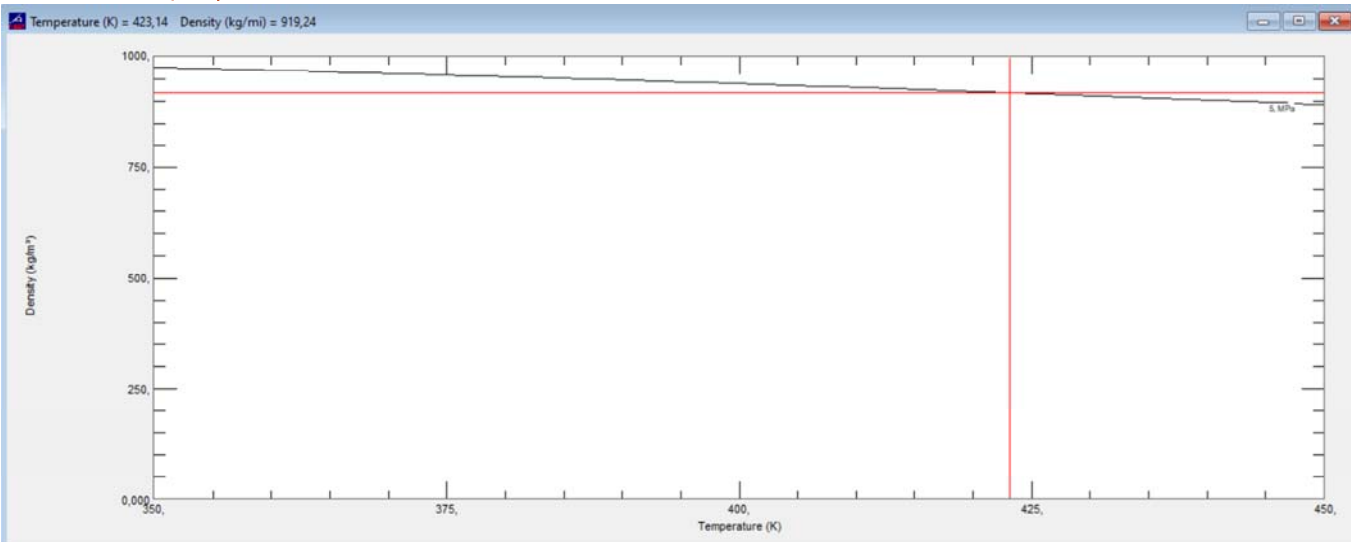
cp2=4.2019 (kJ/kg K)



ПЛОТНОСТЬ:

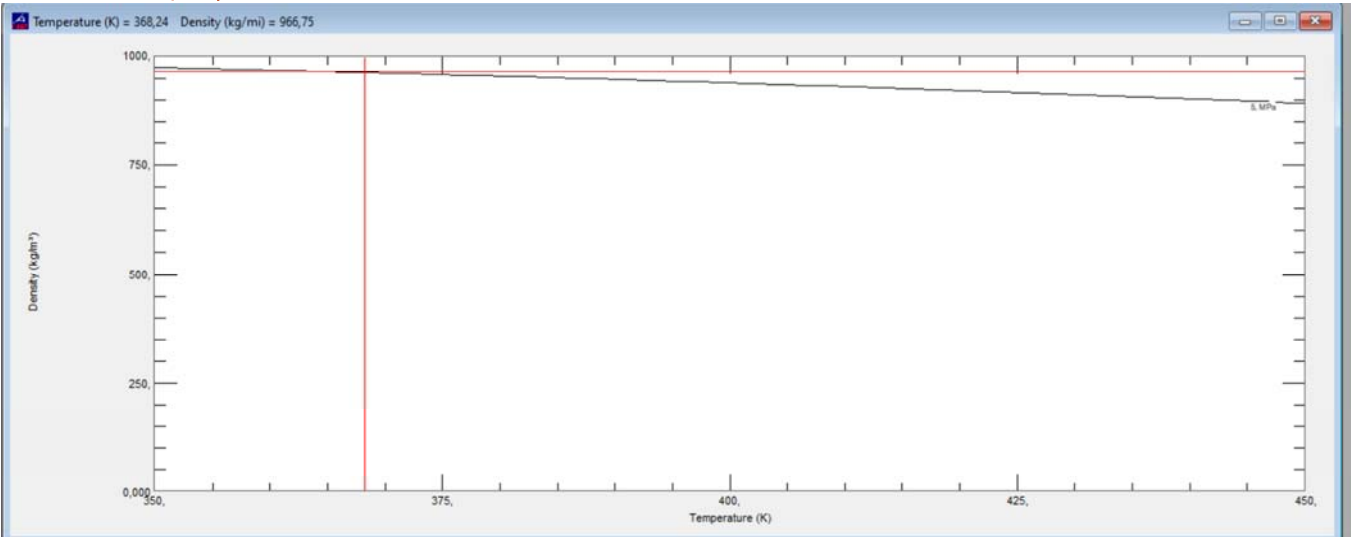
tLiquid1=150 (°C)

$\rho_1=919.24 \text{ (kg / m}^3\text{)}$



tLiquid2=95 (°C)

$\rho_2=966.75 \text{ (kg / m}^3\text{)}$



cp1 = 4.3049; cp2 = 4.2019 ; ρ1 = 919.24; ρ2 = 966.75 ;

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

In[149]:=

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

Out[149]=

4253.4

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

In[150]:=

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

Out[150]=

942.995

Массовый расход воды G (kg/s)

In[151]:=

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

Out[151]=

80.646001

Найдем диаметры d_1, d_3 (m)

In[152]:=

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

численное π

Out[152]=

0.14

In[153]:=

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

численное π

Out[153]=

0.16

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

In[154]:=

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

Out[154]=

0.50743612

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[155]:=

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

первый значения для численного приближения решения уравнений показательная функция

Out[155]=

87 245.152

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

In[156]:=

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

Out[156]:=

0.93116553

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

In[157]:=

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

In[158]:=

t[L, KlinearConcrete]

Out[158]:=

63.406028

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

In[159]:=

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

Out[159]:=

0.95355014

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

In[160]:=

t[L, KlinearRaw]

Out[160]:=

62.016098

Функция теплового потока и плотности теплового потока :

In[161]:=

```
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[163]:=

Q[L, KlinearRaw]

Out[163]:=

 2.0128723×10^7

In[164]:=

qLinear[L, KlinearRaw]

Out[164]:=

230.71452

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

In[165]:=

Q[L, KlinearConcrete]

Out[165]:=

 2.0010942×10^7

In[166]:=

qLinear[L, KlinearConcrete]

Out[166]:=

229.36451

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

In[167]:=

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

Out[167]=

$$1.5299077 \times 10^7$$

In[168]:=

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

Out[168]=

$$175.35733$$

Произведем расчеты по другому:

In[169]:=

```
qLinearAdditional[k_] := k * π * (
```

$$\frac{tLiquid1 + tLiquid2}{2} - tAir$$

```
)
```

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[170]:=

```
Ladditional = First[NSolveValues[
```

[первый значения для численного приближения решения уравнений]

```
qLinearAdditional[KlinearMinWool] * x == π * (
```

$$\frac{d1}{2}$$

```
)^2 * w * cpAverage * ρAverage * (tLiquid1 - tLiquid2), x]]
```

Out[170]=

$$86\,069.209$$

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

In[171]:=

```
Solve[k * π * (
```

$$\frac{tLiquid2asVariable + tLiquid1}{2} - tAir$$

```
) * x ==
```

$$\pi * \left(\frac{d1}{2}\right)^2 * w * cpAverage * \rhoAverage * (tLiquid1 - tLiquid2asVariable), tLiquid2asVariable]$$

Out[171]=

$$\left\{ \left\{ tLiquid2asVariable \rightarrow \frac{5.1452955 \times 10^7 - 282.74334 k x}{343\,019.7 + 1.5707963 k x} \right\} \right\}$$

In[172]:=

```
tLiquid2asVariable[k_, x_] :=
```

$$\frac{5.14529551881195 \times 10^7 - 282.7433388230814 k x}{343019.70125413 + 1.5707963267948966 k x}$$

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

Бетонная изоляция:

In[173]:=

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

Out[173]=

$$61.403125$$

Голая труба:

In[174]:=

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

Out[174]=

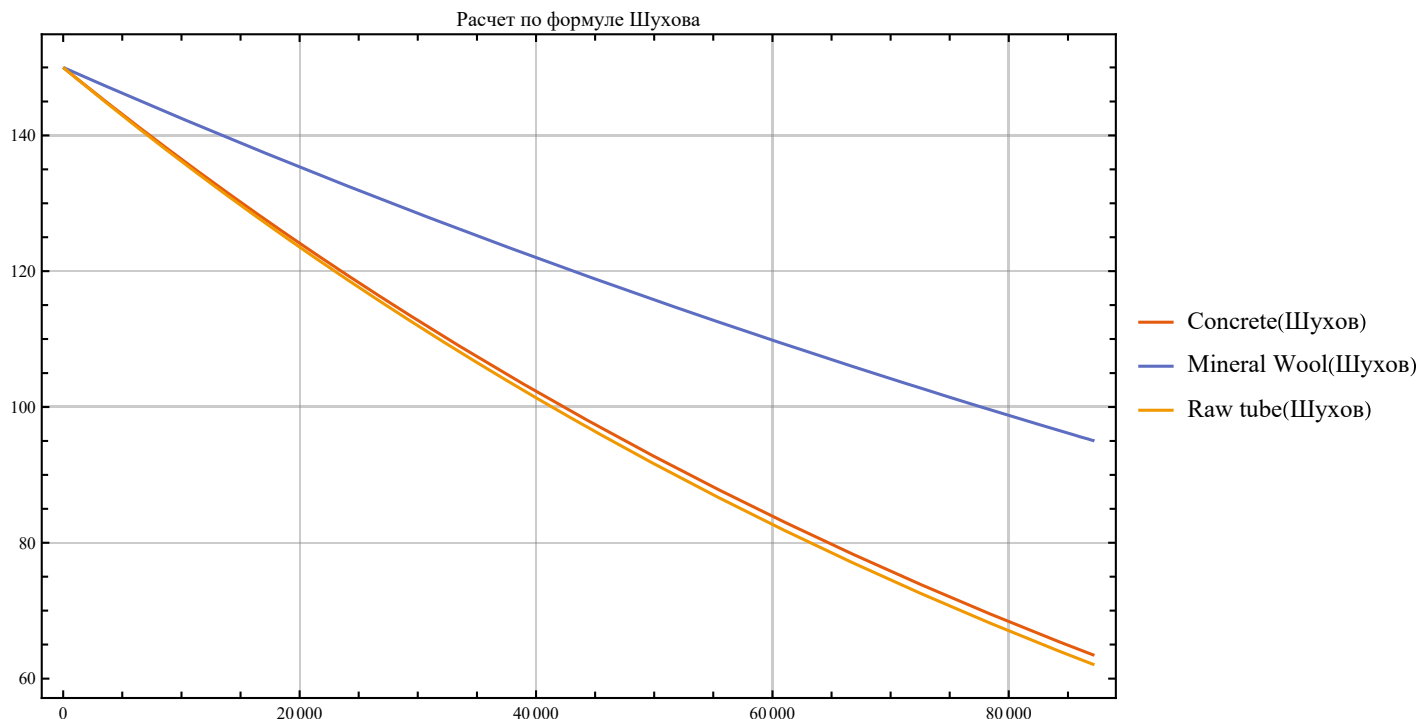
$$59.855107$$

Изобразим функциональные зависимости температуры жидкости в точке x , где

In[175]:=

```
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
```

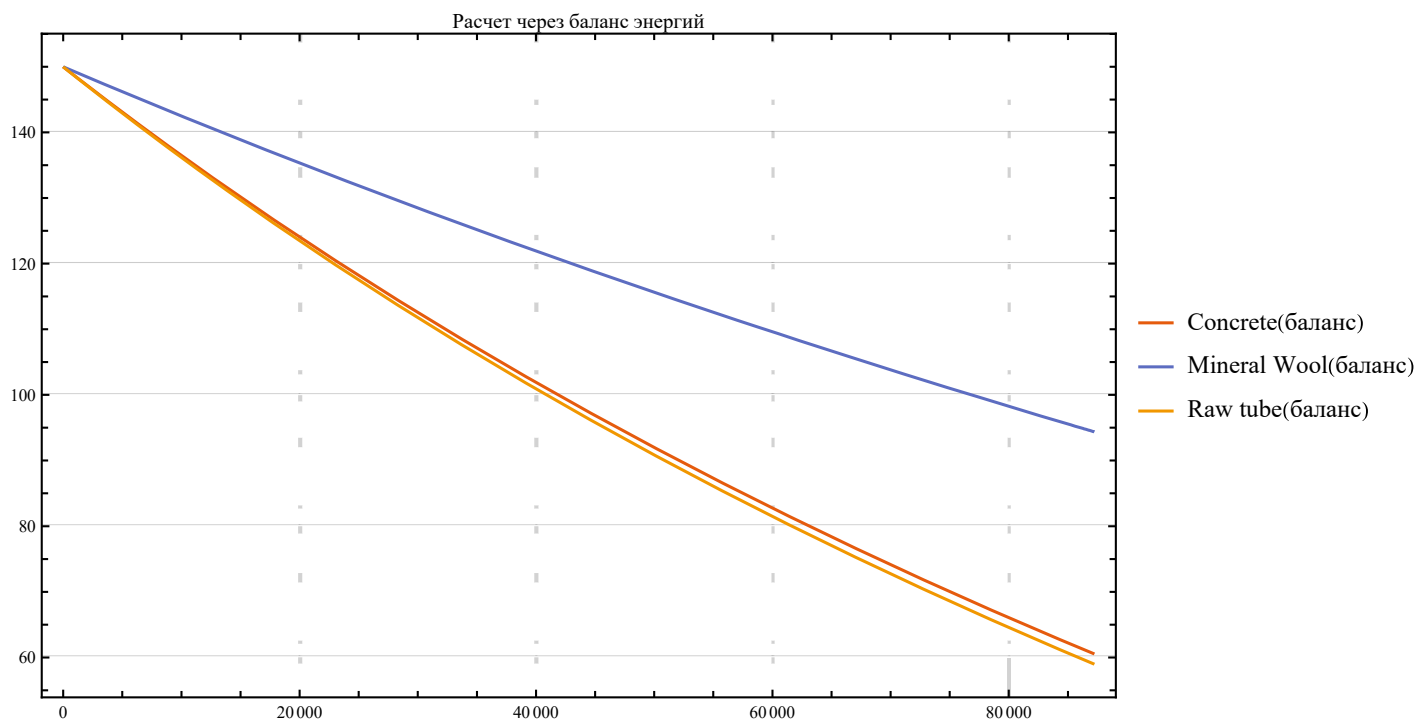
Out[175]=



In[176]:=

```
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[176]=

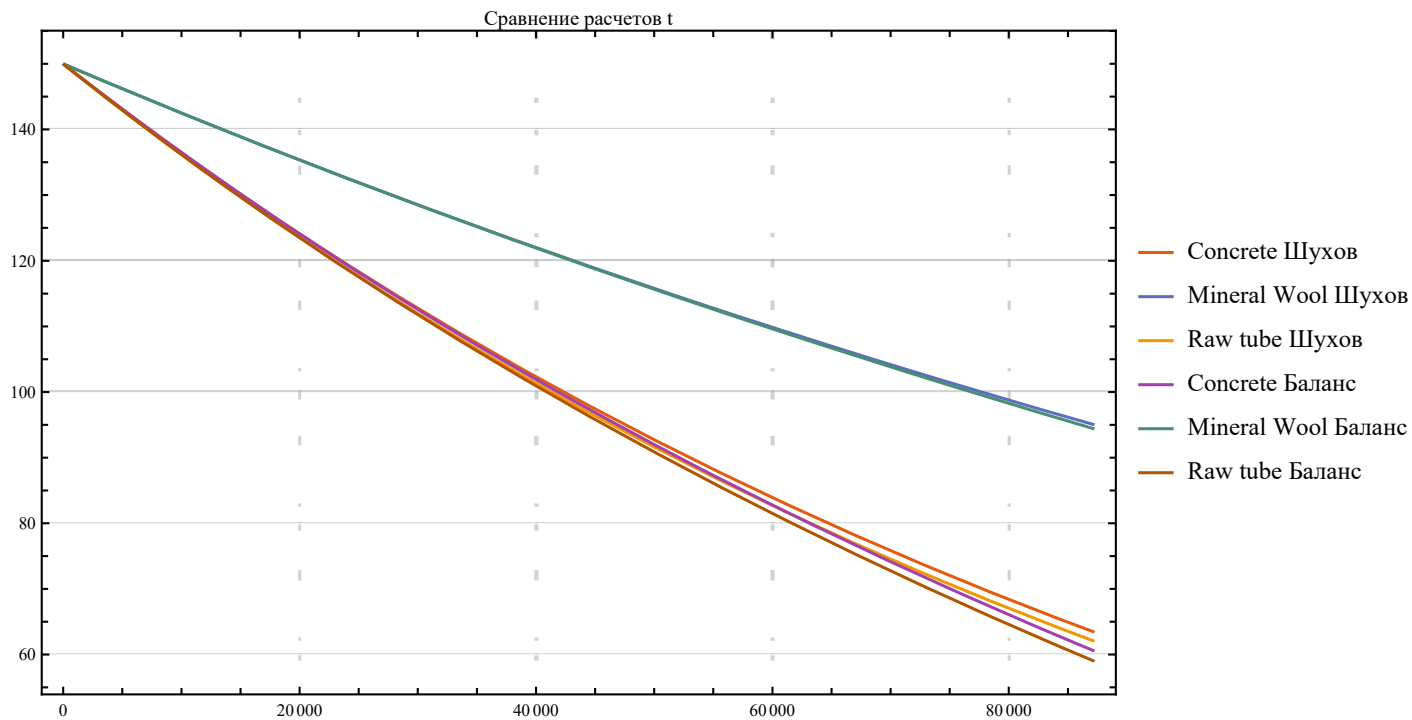


Сопоставим функции температур в одной системе координат:

In[177]:=

```
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[177]=



Точно так же изобразим функции линейных плотностей тепловых потоков.

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

In[178]:=

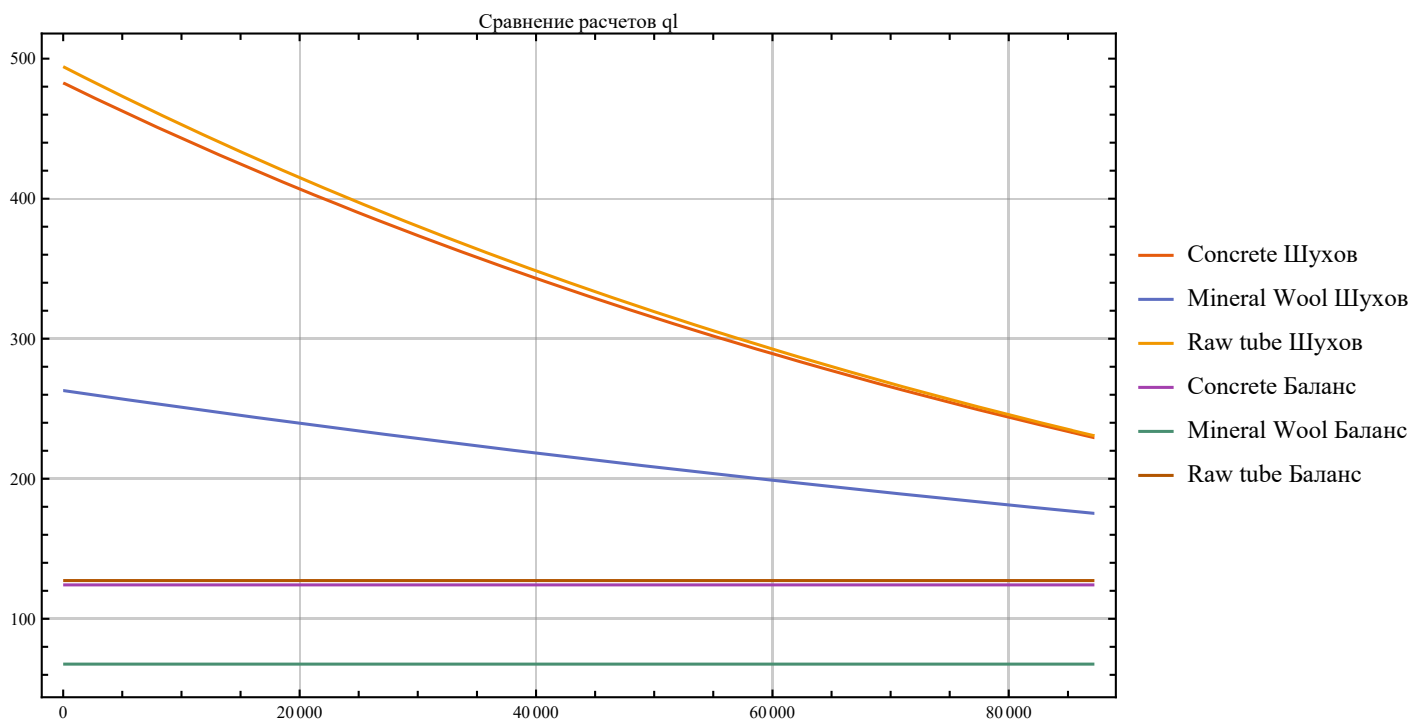
```
qLinearAdditionalFunction[k_] := k * π *  $\left( \frac{t_{\text{Liquid1}} - t_{\text{Liquid2}}}{2} - t_{\text{Air}} \right)$ 
```

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

In[179]:=

```
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[179]=



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

In[180]:=

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

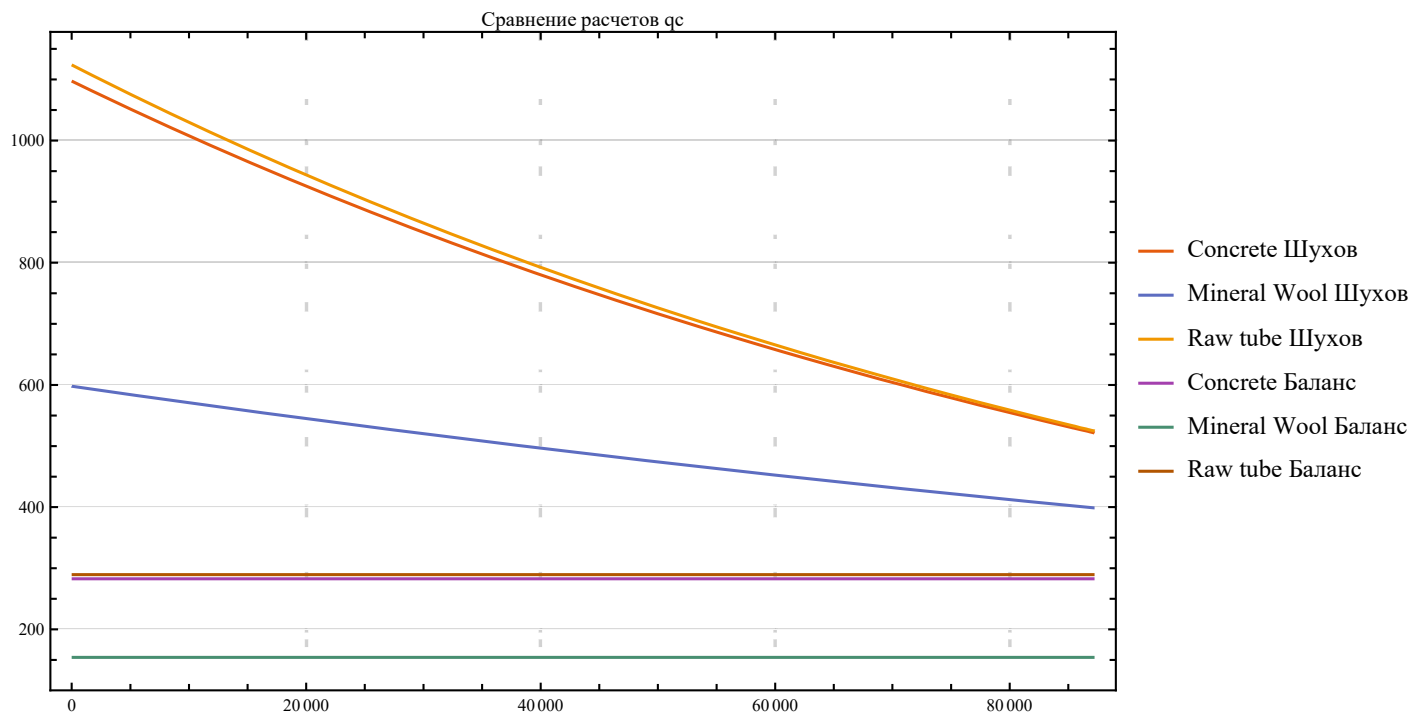
In[181]:=

```

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[181]=



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

In[182]:=

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

Out[182]=

362.49971

In[183]:=

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

Out[183]=

356.02304

In[184]:=

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

Out[184]=

219.19667

Среднее значение температуры на поверхности труб:

In[185]:=

```
{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[185]=

```
{45.097522, 40.334791, 19.068587}
```

In[186]:=

Учет излучение

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

In[187]:=

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

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

In[188]:=

```
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[189]:=

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

Out[189]=

```
129.32891
```

In[190]:=

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

Out[190]=

```
236.65977
```

In[191]:=

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

Out[191]=

```
263.89931
```

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

In[192]:=

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

Out[192]=

```
3.7961337
```

In[193]:=

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

Out[193]=

```
4.2768712
```

In[194]:=

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

Out[194]=

4.3911845

In[195]:=

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

Out[195]=

1.8590039

In[196]:=

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

Out[196]=

0.95163376

In[197]:=

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

Out[197]=

0.92398973

In[198]:=

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

Out[198]=

109186.56

In[199]:=

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

Линейная плотность потока излучения для трубы с ватной изоляцией:

In[200]:=

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

Из баланса энергий найдем длину трубы:

In[201]:=

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

Out[201]=

132026.28

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

In[202]:=

$$q_{\text{LinearRadiationMinWool}}[\text{LwithRadiation}]$$

Out[202]=

406.50287

Для трубы без изоляции : (W / m)

In[203]:=

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

In[204]:=

qLinearRadiationWithoutIns[LwithRadiation]

Out[204]=

339.11393

In[205]:=

tLiquid2RadiationVariableWithoutIns = tLiquid2RadiationVariable[MradWithoutIns, LwithRadiation]

Out[205]=

19.47703

Для трубы с изоляцией из бетона:

In[206]:=

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

In[207]:=

qLinearRadiationConcrete[LwithRadiation]

Out[207]=

333.09007

In[208]:=

tLiquid2RadiationVariable[MradConcrete, LwithRadiation]

Out[208]=

21.795579

Рассчитаем потери теплоты:

In[209]:=

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

Потери теплоты в трубе с бетонной изоляцией:(W)

In[212]:=

QradConcrete[LwithRadiation]

Out[212]=

4.3976642×10^7

Потери теплоты в трубе с ватной изоляцией:(W)

In[213]:=

QradMinWool[LwithRadiation]

Out[213]=

5.3669061×10^7

In[214]:=

QradWithoutIns[LwithRadiation]

Out[214]=

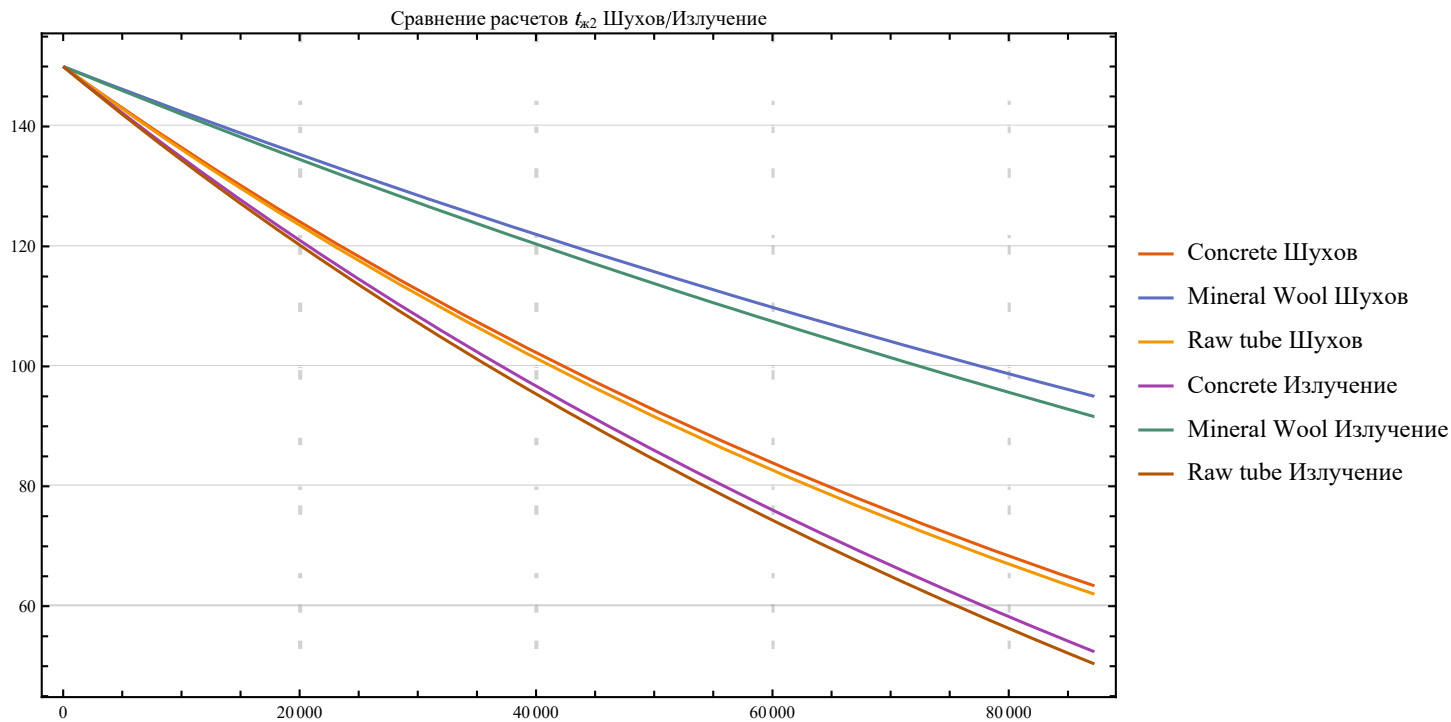
4.477195×10^7

Сравним расчеты температуры(Шухов/Излучение):

In[215]:=

```
Plot[{t[x, KlinearConcrete], t[x, KlinearMinWool], t[x, KlinearRaw],
  tLiquid2RadiationVariable[MradConcrete, x], tLiquid2RadiationVariable[MradMinWool, x],
  tLiquid2RadiationVariable[MradWithoutIns, x]}, {x, 0, L},
PlotLabel → "Сравнение расчетов  $t_{ж2}$  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[215]=

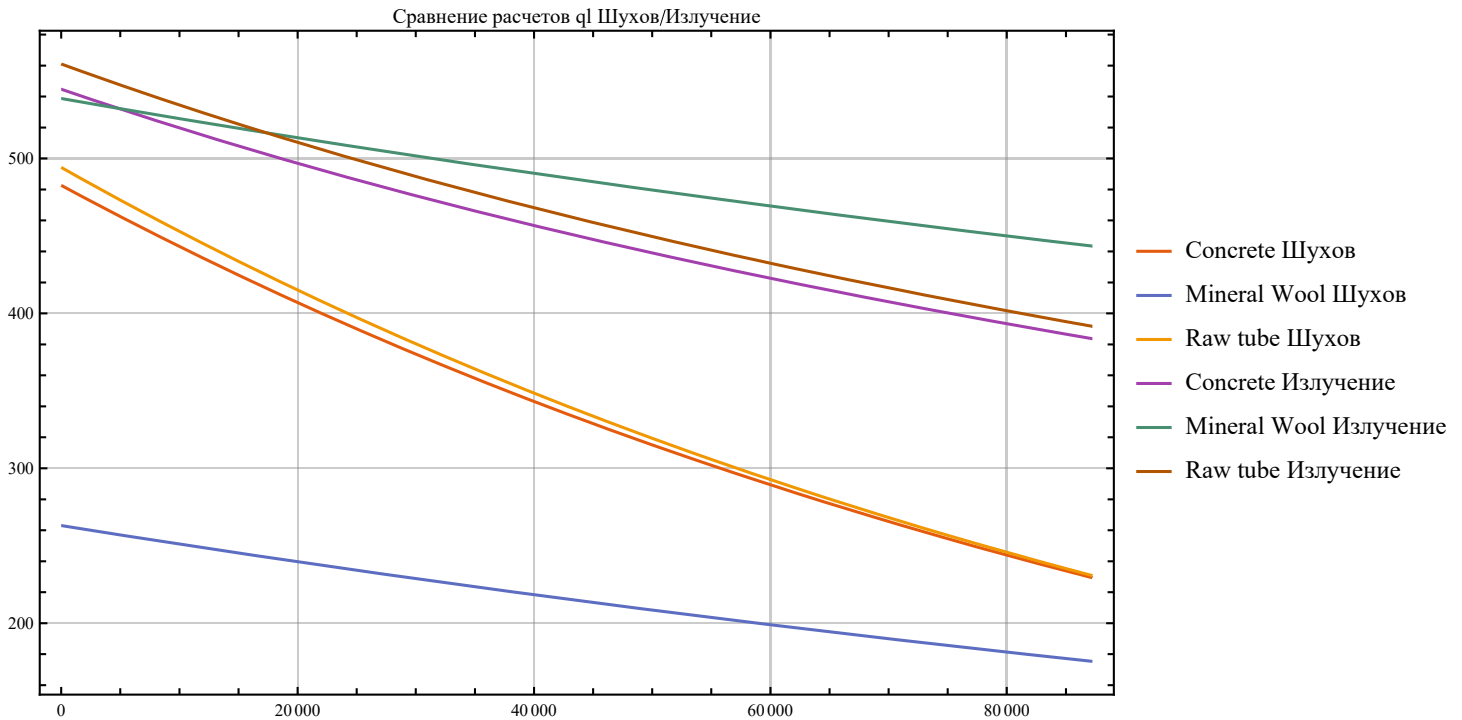


Сравним расчеты линейной плотности потоков тепла/излучения(Шухов/Излучение):

In[216]:=

```
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[216]=



Соберем все результаты выше воедино.

Способ основанный на формуле Шухова.

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

In[217]:=

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

Out[217]=

```
63.406028
```

In[218]:=

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

Out[218]=

```
95.
```

In[219]:=

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

Out[219]=

```
62.016098
```

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

In[220]:=

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

Out[220]=

```
 $2.0010942 \times 10^7$ 
```

In[221]:=

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

Out[221]=

```
 $1.5299077 \times 10^7$ 
```



```
In[222]:= Q[L, KlinearRaw]
```

```
Out[222]= 2.0128723 × 107
```

Способ основанный на методе баланса энергии.

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

```
In[223]:= tLiquid2asVariable[KlinearConcrete, Ladditional]
```

```
Out[223]= 61.403125
```

```
In[224]:= tLiquid2asVariable[KlinearMinWool, Ladditional]
```

```
Out[224]= 95.
```

```
In[225]:= tLiquid2asVariable[KlinearRaw, Ladditional]
```

```
Out[225]= 59.855107
```

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

```
In[226]:= Qadditional[k_, x_] := qLinear[x, k] * x;
```

```
In[227]:= Qadditional[KlinearConcrete, Ladditional]
```

```
Out[227]= 1.9940196 × 107
```

```
In[228]:= Qadditional[KlinearMinWool, Ladditional]
```

```
Out[228]= 1.5175577 × 107
```

```
In[229]:= Qadditional[KlinearRaw, Ladditional]
```

```
Out[229]= 2.0062398 × 107
```

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

```
In[230]:= tLiquid2RadiationVariable[MradConcrete, LwithRadiation]
```

```
Out[230]= 21.795579
```

```
In[231]:= tLiquid2RadiationVariable[MradMinWool, LwithRadiation]
```

```
Out[231]= 69.014744
```

```
In[232]:= tLiquid2RadiationVariable[MradWithoutIns, LwithRadiation]
```

```
Out[232]= 19.47703
```

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

```
In[233]:= QradConcrete[LwithRadiation]
```

```
Out[233]= 4.3976642 × 107
```

In[231]:= №1 ЯГ.nb

QradMinWool [LwithRadiation]

Out[234]=

5.3669061×10^7

In[235]:=

QradWithoutIns [LwithRadiation]

Out[235]=

4.477195×10^7

Найдем критический диаметр при бетонной и ватной изоляциях

In[236]:=

d2 // N

численное приближение

Out[236]=

0.15

In[237]:=

dCriticalConcrete = d2 + $\frac{2 \lambda_{\text{Concrete}}}{\alpha}$

Out[237]=

0.35

In[238]:=

dCriticalMinWool = d2 + $\frac{2 \lambda_{\text{MinWool}}}{\alpha}$

Out[238]=

0.15546875

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