

## Расчет коэффициента теплопроводности для окружающей среды.

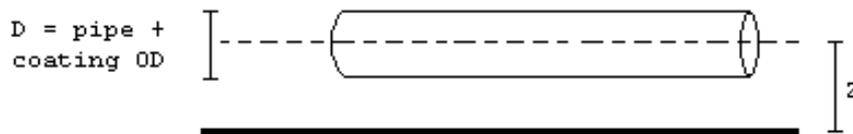
1) Для открытых трубопроводов:

$Z$  = глубина залегания.

$D$  = наружный диаметр трубы

Труба и покрытие полностью открыты для воздействия воды и воздуха

$Z < 0$  и  $|Z| > D/2$



$$h_a = \frac{kNu_{forced}}{D},$$

где  $Nu_{forced} = (0.4Re^{0.5} + 0.06Re^{0.67})Pr^{0.4}$  – число Нуссельта в случае вынужденной конвекции,

$Pr = \frac{c\mu}{k}$  – число Прандтля для окружающей среды,

$Re = \frac{vD}{\mu}$  – число Рейнольдса для окружающей среды,

$D$  – наружный диаметр трубы (м),

$k$  – теплопроводность трубы (W/m/k),

$c$  – теплоемкость окружающей среды ( $\frac{Дж}{К}$ ),

$\mu$  – вязкость окружающей среды ( $\frac{кг}{мс}$ ),

$v$  – скорость окружающей жидкости (м/с).

2) Для трубопроводов, которые располагаются на земле/морском дне:

Трубы и покрытие открыты для воздействия воздуха и воды, расположенная на земле/морском дне

$Z < 0$   $|Z| = D/2$



$$\frac{1}{h_{ext}} = \frac{1}{h_g} + \frac{1}{h_a},$$

где  $h_g = \frac{Sk_g}{D}$  – коэффициент теплообмена с грунтом,

$h_a$  – коэффициент, учитывающий движение окружающей жидкости над уровнем земли,

$D$  – диаметр трубы (м),  
 $k_g$  – проводимость почвы (W/m/k),  
 $S$  – shape-фактор (считается по разным методикам).

$$h_a = h_{forced} + h_{free}, \quad (1)$$

где  $h_{forced} = \frac{kNu_{forced}}{D}$ , а  $h_{free} = \frac{kNu_{free}}{D}$ . Коэффициент  $h_{free}$  рассчитывается в зависимости от вида залегания трубы:

2. Calculation of inner wall and outer wall Grashof and Rayleigh numbers

$$Gr = \frac{L^3 \rho^2 \beta g \Delta T}{\mu^2} \quad [\text{Eq. 228.6}]$$

For horizontal pipes (  $angle \leq 45^\circ$  ), Length  $L = D + 2wt + \sum_{i=1}^n 2wt_{layer,i}$

For vertical pipes (  $angle \geq 45^\circ$  ), Length  $L = 3wt_{layer,n}$

$$Ra = Pr Gr \quad [\text{Eq. 228.7}]$$

3. Calculation of inner wall and outer wall free convection Nusselt numbers

For horizontal pipes (  $angle \leq 45^\circ$  )

$$Nu_{free} = 0.53 Ra^{0.25} \quad [\text{Eq. 228.8}]$$

For vertical pipes (  $angle \geq 45^\circ$  ),

$$Nu_{free} = 0.555 Ra^{0.25} \text{ for } Ra \leq 10^9 \quad [\text{Eq. 228.9}]$$

$$Nu_{free} = 0.021 Ra^{0.4} \text{ for } Ra > 10^9 \quad [\text{Eq. 228.10}]$$

Формула (1) действительна только для турбулентного течения воздуха или воды. При скоростях примерно менее 0.05 м/с в воде и 0.5 м/с в воздухе, естественная конвекция будет иметь доминирующее воздействие, т.е.  $h_a = h_{forced}$ .

Тогда  $h_a = 4 \frac{W}{m^2k}$  в воде и  $h_a = 200 \frac{W}{m^2k}$  в воздухе.

**3) Для заглубленных трубопроводов:**

**Покрyтия трубы полностью заглублены (горизонтальная труба)**

$$Z > 0 \quad |Z| > D/2$$

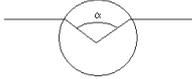


$$h_{ext} = h_g$$

**4) и 5) Для частично заглубленных трубопроводов имеет место детальное моделирование теплопередачи:**

Когда труба частично заглублена, PIPESIM выполнит следующий расчет:

1. Угол ( $\alpha$ ) открытой части трубы (смотри диаграмму ниже)



2. Затем это значение используется для расчета заглубленной части трубы.
3. Далее PIPESIM рассчитывает площадь заглубленной трубы и открытого участка.
4. Затем PIPESIM преобразовывает площади эквивалентных диаметров заглубленной и открытой трубы и использует эти значения диаметров в специальных уравнениях теплопередачи для заглубленной и открытой трубы.
5. Затем PIPESIM связывает коэффициенты теплопроводности для открытого и заглубленного участков, и выводит средний коэффициент теплопроводности для всей системы трубопровода.

В установках Pipesim есть опция теплопередачи, в опции можно выбрать один из 3-х методов расчета overall transfer coefficient (U): 1983 Method, 2000 Method, 2009 Method.

Труба и покрытие частично заглублены (меньше, чем на половину), но открыты для воздействия воздуха и воды.  
 $Z < 0$   $|Z| < D/2$



Труба и покрытие частично заглублены (больше, чем на половину), но открыты для воздействия воздуха и воды.  
 $Z > 0$   $|Z| < D/2$



К примеру, 1983 Method:

#### 2000 Method

1. A fully exposed pseudo pipe of the same diameter is created and an overall heat transfer coefficient ( $U_{bur}$ ) is calculated using the methods described in the sections above.
2. A fully buried pseudo pipe ( $Z=+R$ ) of the same diameter is created and an overall heat transfer coefficient ( $U_{exp}$ ) is calculated using the methods described in the sections above.
3. The fully buried and fully exposed heat transfer coefficients are then combined in parallel (according to the fraction of pipe exposed and buried) to give the overall heat transfer coefficient:

$$U = \left(1 + \frac{\beta_0}{\pi}\right) U_{exp} - \frac{\beta_0}{\pi} U_{bur} \quad [\text{Eq. 228.39}]$$

where the negative of half of the angle of the exposed arc:

$$\beta_0 = -\cos^{-1}\left(-\frac{Z}{R}\right) \quad [\text{Eq. 228.40}]$$