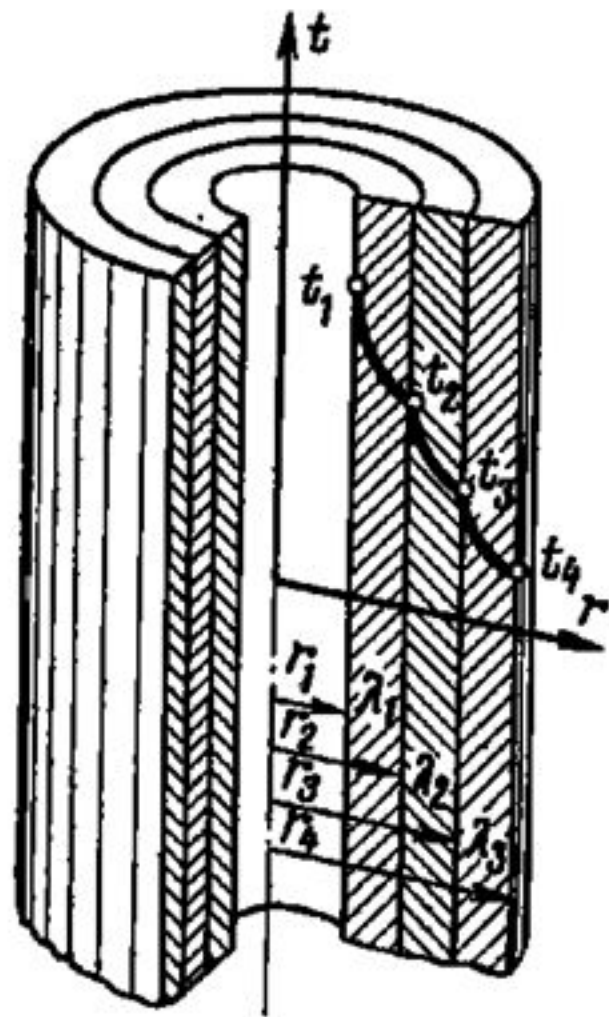
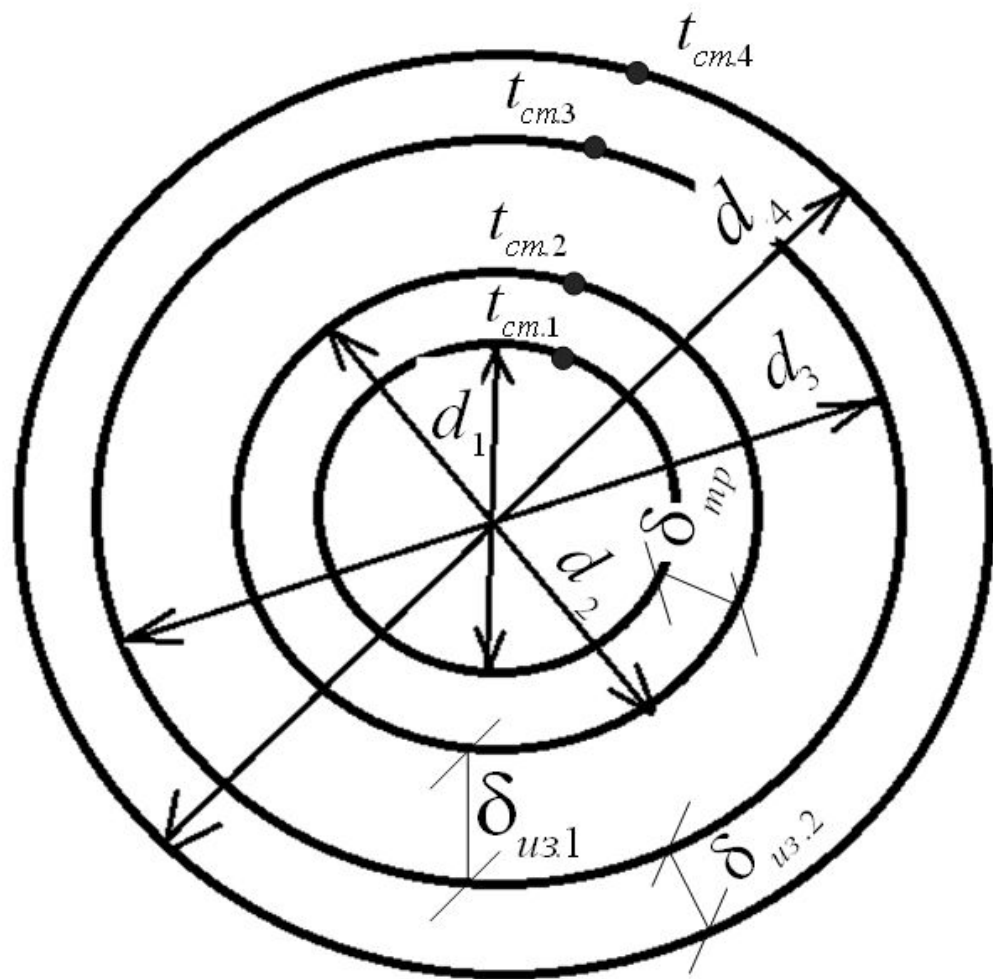


**Расчет тепловых потерь  
ТРУБОПРОВОДОВ И  
ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ  
ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ**



$$d_2 = d_1 + 2\delta_{mp}$$

$$d_3 = d_2 + 2\delta_{u3.1}$$

$$d_4 = d_3 + 2\delta_{u3.2}$$

Для **цилиндрической стенки** плотность теплового потока соотносится не с площадью, а с длиной цилиндрической поверхности:

$$Q = \frac{q_l}{l}$$

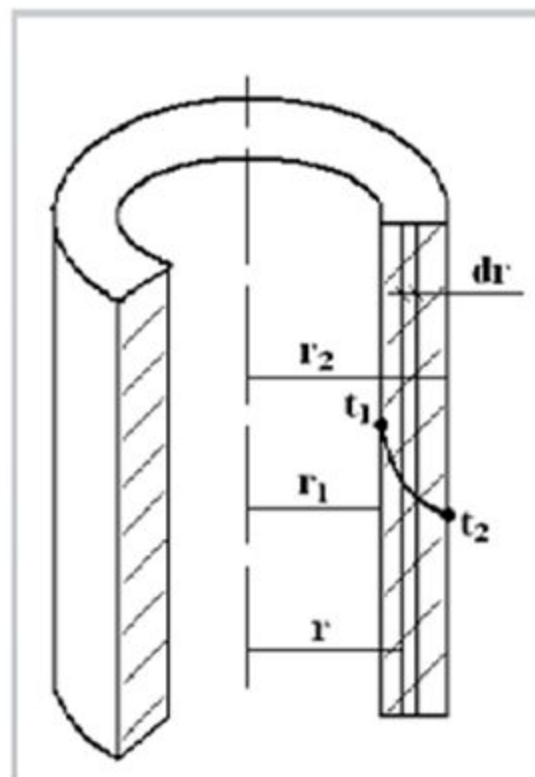
$$Q = \frac{\Delta t}{R_t^{\text{полн}}}$$

Для **однослойной цилиндрической стенки**:

$$R_t^{\text{полн}} = \frac{1}{2\pi\lambda l} \ln \frac{d_2}{d_1} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{Вт}]$$

Для **многослойной цилиндрической стенки**

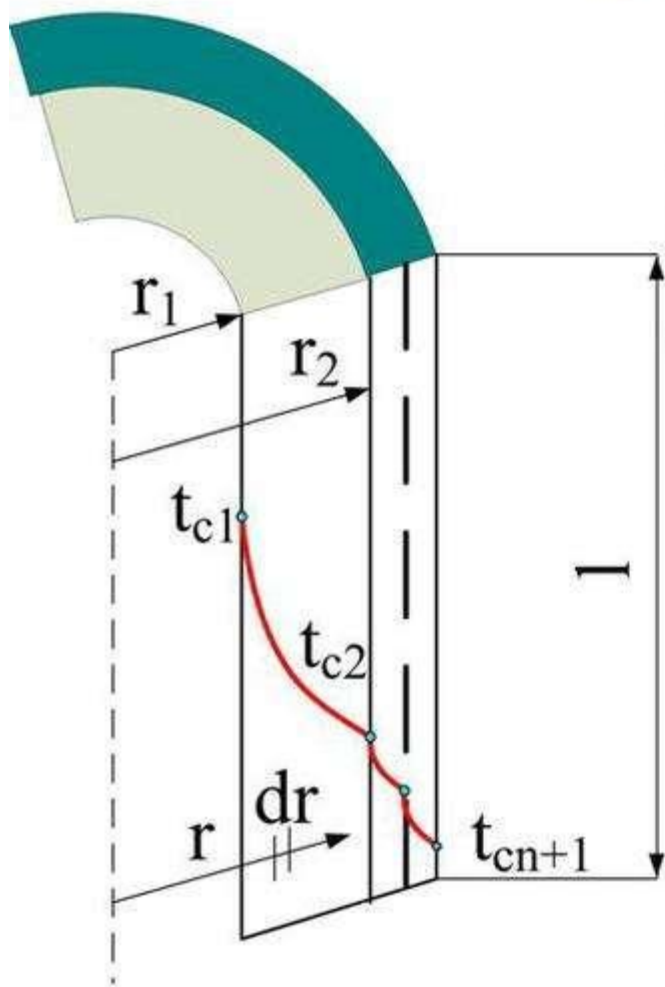
$$R_t^{\text{полн}} = \sum \frac{1}{2\pi\lambda_i l} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{Вт}]$$



Теплопроводность при стационарном режиме.

Многослойная цилиндрическая стенка

Определяем плотность теплового потока через многослойную цилиндрическую стенку радиусами  $r_1, r_2, \dots, r_n$  на поверхностях которой поддерживаются постоянные температуры.



$$Q = \frac{(t_{c1} - t_{cn+1})}{\frac{1}{2\pi l} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i}}, \text{ Вт.}$$

Линейная плотность теплового потока:

$$q_l = \frac{\Delta t}{R_t}$$

Для однослойной цилиндрической стенки

$$R_t = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} \quad [\text{м} * \text{°C}/\text{Вт}]$$

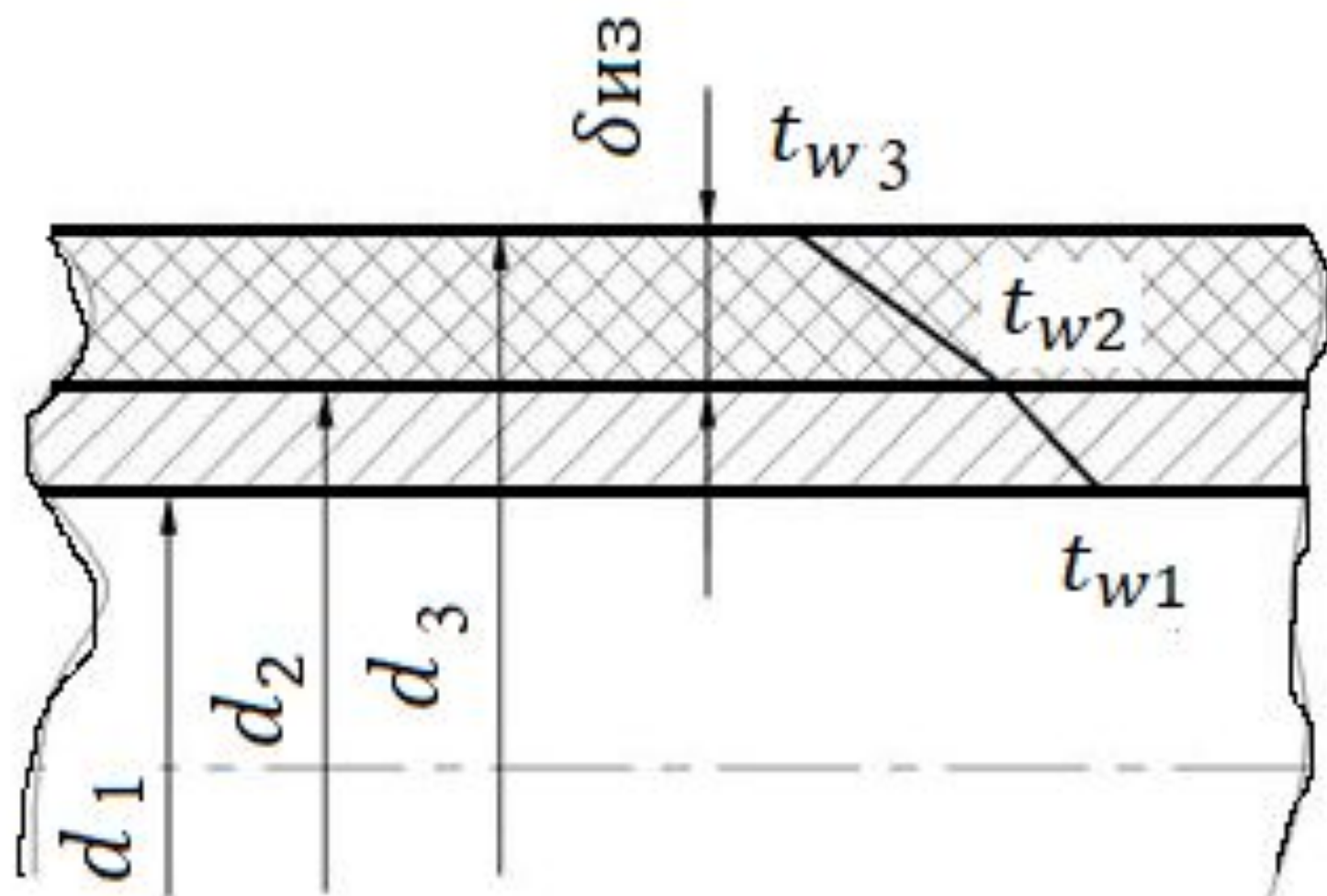
$$q_l = \frac{2\pi\Delta t}{\frac{1}{\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}} = \frac{2\pi(t_1 - t_2)}{\frac{1}{\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}}$$

Для многослойной цилиндрической стенки

$$R_t = \sum \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} \quad [\text{м} * \text{°C}/\text{Вт}]$$

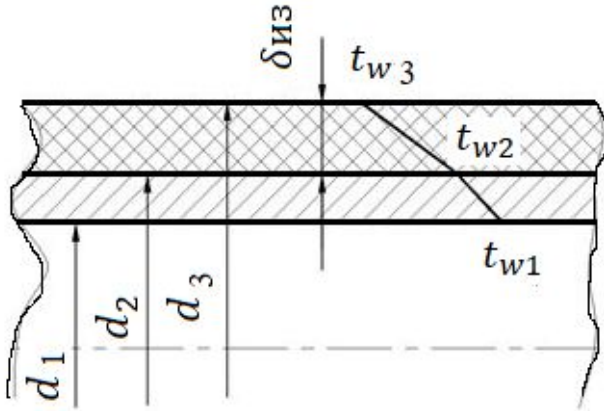
Линейная плотность теплового потока для многослойной стенки можно записать в виде:

$$q_l = \frac{2\pi\Delta t}{\sum \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}} = \frac{2\pi(t_1 - t_{i+1})}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \dots + \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}}$$



### Задача 1-23

Паропровод диаметром  $150/160$  мм покрыт слоем тепловой изоляции толщиной  $d_{из} = 100$  мм. Коэффициенты теплопроводности стенок трубы  $\lambda_1 = 50$  Вт/м×град и изоляции  $\lambda_2 = 0,08$  Вт/м×град. Температура на внутренней поверхности паропровода  $t_{w1} = 400^\circ\text{C}$  и на наружной поверхности изоляции  $t_{w3} = 50^\circ\text{C}$ . Найти тепловые потери с 1 м паропровода и температуру на границе соприкосновения паропровода



### Решение

Внешний диаметр паропровода

$$d_{внеш} = d_2 + 2\delta_{из} = (160 + 2 * 100) = 360 \text{ мм}$$

Тепловые потери с 1 м паропровода будут равны

$$q_l = \frac{2\pi(t_{w1} - t_{w3})}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2}} = \frac{2 * 3,14(400 - 50)}{\frac{1}{50} \ln \frac{160}{150} + \frac{1}{0,08} \ln \frac{360}{160}} = 217 \text{ [Вт/м]}$$

Температура  
а  
будет равна

$$t_{w2} = t_{w1} - \frac{q_l}{2\pi} * \frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} = 400 - \frac{217}{2\pi} * \frac{1}{50} \ln \frac{160}{150}$$



**Пример 1-24** Паропровод диаметром 160/170 мм покрыт двуслойной изоляцией. Толщина первого слоя  $\delta_2 = 30$  мм и второго  $\delta_3 = 50$  мм. Коэффициенты теплопроводности трубы и изоляции соответственно равны:  $\lambda_1 = 50$ ,  $\lambda_2 = 0,15$  и  $\lambda_3 = 0,08$  Вт/(м·°С). Температура внутренней поверхности паропровода  $t_1 = 300^\circ\text{С}$  и внешней поверхности изоляции  $t_4 = 50^\circ\text{С}$ . Определить линейную плотность теплового потока и температуры на поверхностях раздела отдельных слоев.

Согласно условию задачи имеем:  $d_1 = 0,16$  м;  $d_2 = 0,17$  м,  $d_3 = 0,23$  м и  $d_4 = 0,33$  м,

$$\ln \frac{d_2}{d_1} = 0,06, \quad \ln \frac{d_3}{d_2} = 0,302 \text{ и } \ln \frac{d_4}{d_3} = 0,362.$$

Применяя уравнение (1-16), получаем:

$$q_l = \frac{2 \cdot 3,14 (300 - 50)}{\frac{0,06}{50} + \frac{0,302}{0,15} + \frac{0,362}{0,08}} = \frac{1570}{6,54} = 240 \text{ Вт/м.}$$

Далее согласно уравнению (1-18) имеем:

$$t_2 = 300 - \frac{240}{2 \cdot 3,14} \cdot 0,0012 = 300 - 0,046 \approx 300^\circ\text{С},$$

$$t_3 = 300 - \frac{240}{2 \cdot 3,14} \cdot 2,01 = 300 - 77 = 223^\circ\text{С},$$

или

$$t_3 = 50 + \frac{240}{2 \cdot 3,14} \cdot 4,53 = 50 + 173 = 223^\circ\text{С}.$$

### **Задача 1-25**

**Паропровод** наружным диаметром  $159 \text{ мм}$  (толщина стенки  $4 \text{ мм}$ ) покрыт двумя слоями тепловой изоляции толщиной  $d_{из1}=40 \text{ мм}$  и  $d_{из2}=55 \text{ мм}$ . Коэффициенты теплопроводности стенок трубы  $\lambda_1=55 \text{ Вт/м}\times\text{град}$  и слоев изоляции  $\lambda_2=0,12 \text{ Вт/м}\times\text{град}$  и  $\lambda_3=0,07 \text{ Вт/м}\times\text{град}$ . Температура на внутренней поверхности паропровода  $t_{w1}=400^\circ\text{C}$  и на наружной поверхности изоляции  $t_{w3}=55^\circ\text{C}$ . Найти тепловые потери с  $1 \text{ м}$  паропровода и температуру на границе соприкосновения паропровода