

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТОЛЩИНЫ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБ

С увеличением толщины изоляции возрастают и затраты в сооружении и эксплуатации теплоизолированного водопровода. Вместе с тем уменьшаются его теплопотери и, следовательно, стоимость тепла, теряемого трубопроводом в окружающую среду.

Расчетное уравнение по переменным составляющим приведенных затрат имеет следующий вид:

$$З = (E_n + \varphi)K_{из} + I_{тп},$$

Где φ – доля годовых отчислений на реновацию, ремонт и обслуживание тепловой изоляции;

$K_{из}$ – капитальные вложения в тепловую изоляцию, руб;

$I_{тп}$ – стоимость теплопотерь, руб/год;

Методику решения задач рассмотрим на примере двухтрубного варианта тепловой сети с бесканальной прокладкой.

Капитальные вложения в тепловую изоляцию 1 м двухтрубного теплопровода составляют:

$$K_{из} = 2C_{из}V_{из} = 2C_{из}\pi(d + \delta_{из})\delta_{из},$$

где $C_{из}$ – стоимость 1 м³ “в деле”, руб/ м³. определяется специальным расчетом или принимается по укрупненным сметным нормативам;

$V_{из}$ – объем тепловой изоляции, м³;

d – диаметр трубопровода, м;

$\delta_{из}$ – толщина тепловой изоляции, м.

Годовая стоимость тепла, теряемого теплопроводом,

$$I_{тп} = (q_n + q_0)(1 + \beta)\tau C_T$$

где q_n , q_0 – удельные потери тепла 1 м подающего и обратного трубопроводов тепловой сети, Вт/м;

β – коэффициент учитывающий теплопотери через неизолированные участки теплопроводов (арматура, фасонные части и т.д.). принимается в среднем равным 0,2;

τ – годовая продолжительность эксплуатации тепловой сети, ч/год;

C_T – районные замыкающие затраты на тепловую энергию, руб/Вт.ч.

Согласно (28) можно записать:

$$Q_n = \frac{(t_n^{cp} - t_{cp}^{cp})R_0 - (t_0^{cp} - t_{cp}^{cp})R_{инт}}{R_n R_0 - R_{инт}^2}$$

$$Q_n = \frac{(t_0^{cp} - t_{cp}^{cp})R_n - (t_n^{cp} - t_{cp}^{cp})R_{инт}}{R_n R_0 - R_{инт}^2}$$

где t_n^{cp}, t_0^{cp} – среднегодовая температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах, $^{\circ}C$. принимается по температурному графику тепловой сети;

t_{cp}^{cp} – средняя температура грунта на глубине заложения трубопровода, $^{\circ}C$. Принимается по климатическим справочникам или усреднено $t_{cp}^{cp} = + 5 ^{\circ}C$;

R_n, R_0 – термические сопротивления подающего и обратного трубопроводов тепловой сети, $м^{\circ}K/Вт$;

$R_{инт}$ – дополнительное термическое сопротивление, учитывающее тепловую интерференцию трубопроводов, $м^{\circ}K/Вт$.

Термическое сопротивление трубопроводов определяют по формулам:

$$R_n = R_0 = \frac{1}{2\pi\lambda_{из}} l_n \frac{d + 2\delta_{из}}{d} + \frac{1}{2\pi\lambda_{из}} l_n \left[\frac{2h}{d} + \sqrt{\left(\frac{2h}{d}\right)^2 + 1} \right]$$

$$R_{инт} = \frac{1}{2\pi\lambda_{г}} \ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{s}\right)^2}$$

Где $\lambda_{из}, \lambda_{г}$ – теплопроводность тепловой изоляции и грунта, $Вт/(м^{\circ}K)$

h – глубина заложения трубопроводов, м;

s – шаг между трубами, м.

из выше изложенного, получим целевую функцию вида

$$Z = f(\delta_{\text{из}})$$

Для нахождения оптимальной толщины тепловой изоляции воспользуемся методом вариантных расчетов. Задаваясь рядом значений $\delta_{\text{из}}$, вычисляем приведенные затраты Z . минимальными приведенными затратами Z_{min} соответствует оптимальная толщина тепловой изоляции $\delta_{\text{из}}$.

Пример

Определить экономическую толщину изоляции из минеральной ваты для надземного паропровода с наружным диаметром $d=325$ мм, по которому должен подаваться пар со средней температурой $\tau=175^\circ\text{C}$.

Средняя температура наружного воздуха $t_0 = 5^\circ\text{C}$. Коэффициент теплопроводности минеральной ваты $\lambda=0,07$ ккал/м·ч·град. Наружный защитный слой толщиной $\delta_n = 15$ мм с коэффициентом теплопроводности $\lambda_n = 0,4$ ккал/м·ч·град. Коэффициент теплоотдачи на поверхности изоляции $\alpha=20$ ккал/м²·ч·град. Число часов работы паропровода в году $n=5000$ ч/год.

Стоимость на тепло $z_T = 2,5$ руб/Гккал; стоимость изоляции $c_0 = 45$ руб/м³; стоимость наружного защитного слоя по сетке $c_n=2,1$ руб/м².

Доля годовых отчислений от капиталовложений по изоляции на амортизацию, текущий ремонт и обслуживание $f=0,05$, а нормативный коэффициент эффективности $p_n=0,15$.

Решение

Тепловое сопротивление и тепловые потери 1 м трубопровода при различной толщине изоляции можно выразить следующими зависимостями:

$$\begin{aligned} R &= \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d+2\delta_{\text{и}}}{d} + \frac{1}{2\pi\delta_{\text{n}}} \ln \frac{d+2\delta_{\text{и}}+2\delta_{\text{n}}}{d+2\delta_{\text{и}}} + \frac{1}{\pi(d+2\delta_{\text{и}}+2\delta_{\text{n}})\alpha_{\text{н}}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,07} \ln \frac{0,325+2\delta_{\text{и}}+}{0,325} + \\ &+ \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,4} \ln \frac{0,355 + 2\delta_{\text{и}}}{0,325 + 2\delta_{\text{и}}} + \frac{1}{3,14(0,355 + 2\delta_{\text{и}})20} = \\ &= 5,23 \lg \frac{0,325 + 2\delta_{\text{и}}}{0,325} + 0,916 \lg \frac{0,355 + 2\delta_{\text{и}}}{0,325 + 2\delta_{\text{и}}} + \frac{0,0159}{0,355 + 2\delta_{\text{и}}} \text{ м} \cdot \text{ч} \cdot \frac{\text{град}}{\text{ккал}}; \\ q &= \frac{\tau - t_0}{R} = \frac{175 - 5}{R} = \frac{170}{R} \frac{\text{ккал}}{\text{м}} \cdot \text{ч}. \end{aligned}$$

Задавая толщину изоляции $\delta_{\text{и}}$ от 40 до 120 мм, находим величины R и q и результаты расчёта сводим в табл. 1

Таблица 1

$\delta_{\text{и}}$, мм	40	60	80	100	120
R , м·ч·град/ккал	0,567	0,773	0,965	1,141	1,303
q , ккал/м·ч	300	220	176	149	130

Стоимость тепловых потерь за год

$$S_{\text{т.п.}} = z_{\text{т.п.}} q n 10^{-6} = 2,5 + 5000 \cdot 10^{-6} q = 0,0125 q \text{ руб/год.}$$

Годовые отчисления от капиталовложений (на амортизацию и ремонт) вместе с величиной $p_{\text{н}} K_{\text{и}}$

$$\begin{aligned} S_{\text{и}} + p_{\text{н}} K_{\text{и}} &= (f + p_{\text{н}})(c_0 V + c_{\text{п}} F) \\ &= (f + p_{\text{н}})[c_0 \pi (d + \delta_{\text{и}}) \delta_{\text{и}} + c_{\text{п}} \pi (d + 2\delta_{\text{и}} + 2\delta_{\text{п}})] = \\ &= 0,2 \cdot 45 \cdot 3,14 (0,325 + \delta_{\text{и}}) \delta_{\text{и}} + 0,2 \cdot 2,1 \\ &\quad \cdot 3,14 (0,325 + 0,030 + 2\delta_{\text{и}}) = \\ &= 28,3 (0,325 + \delta_{\text{и}}) \delta_{\text{и}} + 1,32 (0,355 + 2\delta_{\text{и}}) \text{ руб/год} \end{aligned}$$

Суммарные годовые приведённые затраты:

$$З = S_{\text{т.п.}} + S_{\text{и}} + p_{\text{н}} K_{\text{и}}.$$

Задавая различной толщиной изоляции, находим величины $S_{\text{т.п.}}$ и $S_{\text{и}} + p_{\text{н}} K_{\text{и}}$ и результаты расчёта сводим в табл 2

Таблица 2

$\delta_{\text{и}}$, мм	40	60	80	100	120
$S_{\text{т.п.}}$, руб/год	3,75	2,75	2,20	1,86	1,62
$S_{\text{и}} + p_{\text{н}} K_{\text{и}}$, руб/год	0,99	1,28	1,60	1,93	2,30
$З = S_{\text{т.п.}} + S_{\text{и}} + p_{\text{н}} K_{\text{и}}$, руб/год	4,47	4,03	3,80	3,79	3,92

Строим график суммарных годовых приведённых затрат в зависимости от толщины изоляции (рис. 1), по которому находим экономическую толщину изоляции $\delta_{\text{и}} = 90$ мм.

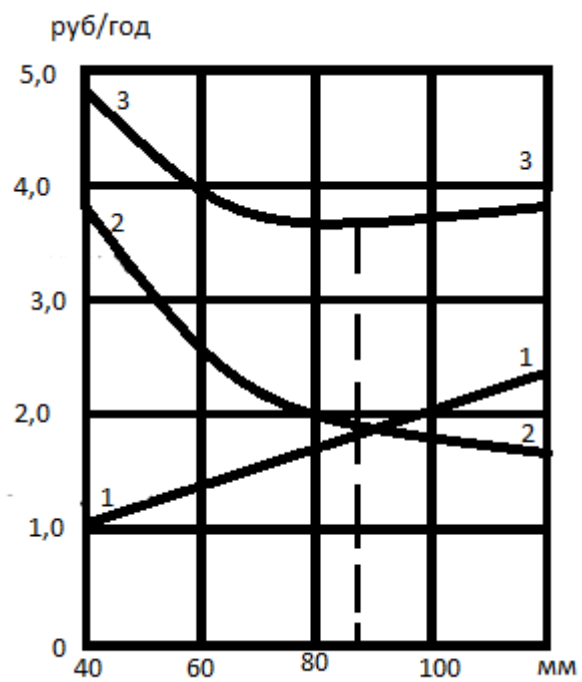


Рис.1 График суммарных годовых приведённых затрат в зависимости от толщины изоляции