



Технические расчеты

Расчет тепловых потерь

Основным критерием выбора толщины тепловой изоляции должно быть соответствие действующим нормативам СНиП 41-03-2003 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов», устанавливающим допустимую величину тепловых потерь.

В соответствии с СП 41-103-2000 «Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов», линейная плотность теплового потока через цилиндрическую теплоизолированную конструкцию (тепловые потери) q Вт/м, определяется по уравнению:

$$q = \frac{t_B - t_H}{R_{ВН} + R_{СТ} + R_{ИЗ} + R_H} \quad (1)$$

где:

t_B - температура среды внутри изолируемого оборудования, °С;

t_H - температура окружающей среды, °С;

$R_{ВН}$ - термическое сопротивление теплоотдаче на внутренней поверхности стенки изолируемого объекта, $m^2 \times ^\circ C / Вт$;

R_H - термическое сопротивление теплоотдаче на наружной поверхности теплоизоляции, $m^2 \times ^\circ C / Вт$;

$R_{СТ}$ - термическое сопротивление кондуктивному переносу теплоты стенки изолируемого объекта, $m^2 \times ^\circ C / Вт$;

$R_{ИЗ}$ - термическое сопротивление кондуктивному переносу теплоты плоского слоя изоляции, $m^2 \times ^\circ C / Вт$;

Величина:

$$K = \frac{1}{R_{ВН} + R_{СТ} + R_{ИЗ} + R_H} \quad (2)$$

является линейным (на единицу длины трубопровода) коэффициентом теплопередачи K [$Вт / (m^2 \cdot град \cdot C)$], и после ее определения тепловые потери определяются уравнением:

$$Q = K(t_B - t_H)$$

где:

t_B - температура среды внутри изолируемого оборудования, °С;

t_H - температура окружающей среды, °С;

В таблице приведены значения линейного (на единицу длины трубопровода) коэффициента теплопередачи K [$Вт / (m^2 \times C^\circ)$]

Значения линейного коэффициента теплопередачи

Типоразмер труб	Коэффициент теплопередачи K , Вт/м/°С, для способа прокладки		
	На воздухе	В канале	В грунте
40/90	0,25	0,23	0,21
50/90	0,31	0,29	0,26
40/110	0,20	0,19	0,17
50/110	0,25	0,24	0,21
63/110	0,31	0,30	0,27
75/125	0,34	0,33	0,29
90/145	0,36	0,35	0,31
110/160	0,44	0,42	0,36
140/180	0,59	0,55	0,45
160/200	0,68	0,63	0,51



Гидравлический расчет

Основные буквенные обозначения величин:

ΔP - потери давления в трубопроводах на трение и в местных сопротивлениях, Па;
 R - удельная потеря давления на трение, Па/м;
 λ - коэффициент гидравлического трения;
 G_d - суммарный расчетный расход сетевой воды в двухтрубных тепловых сетях открытых и закрытых систем теплоснабжения, кг/ч;
 l_c - приведенная длина трубопровода;
 l - длина участка трубопровода по плану, м;
 l_e - эквивалентная длина местных сопротивлений, м;
 k_e - эквивалентная шероховатость внутренней поверхности труб, м;
 Re - число Рейнольдса;
 Re' - предельное число Рейнольдса;
 $\Sigma \xi$ - сумма коэффициентов местных сопротивлений на рассчитываемом участке;
 D_i - внутренний диаметр трубопровода.
 ρ - средняя плотность теплоносителя на расчетном участке.

Формулы для гидравлического расчета трубопроводов водяных тепловых сетей:

Суммарные потери давления в трубопроводах на трение и в местных сопротивлениях определяются по формуле:

$$\Delta P = R l_c, \text{ Па.} \quad (4)$$

Удельные потери давления на трение:

$$R = 6,27 \cdot 10^{-8} \lambda \frac{G_d^2}{D_i^5 \rho} \quad (5)$$

Внутренний диаметр трубопровода:

$$D_i = \sqrt[5]{\frac{6,27 \cdot 10^{-8} \lambda G_d^2}{R \cdot \rho}} \quad (6)$$

Приведенная длина трубопровода:

$$l_c = l + l_e, \quad (7)$$

Эквивалентная длина местных сопротивлений:

$$l_e = \sum \xi \frac{D_i}{\lambda}, \quad (8)$$

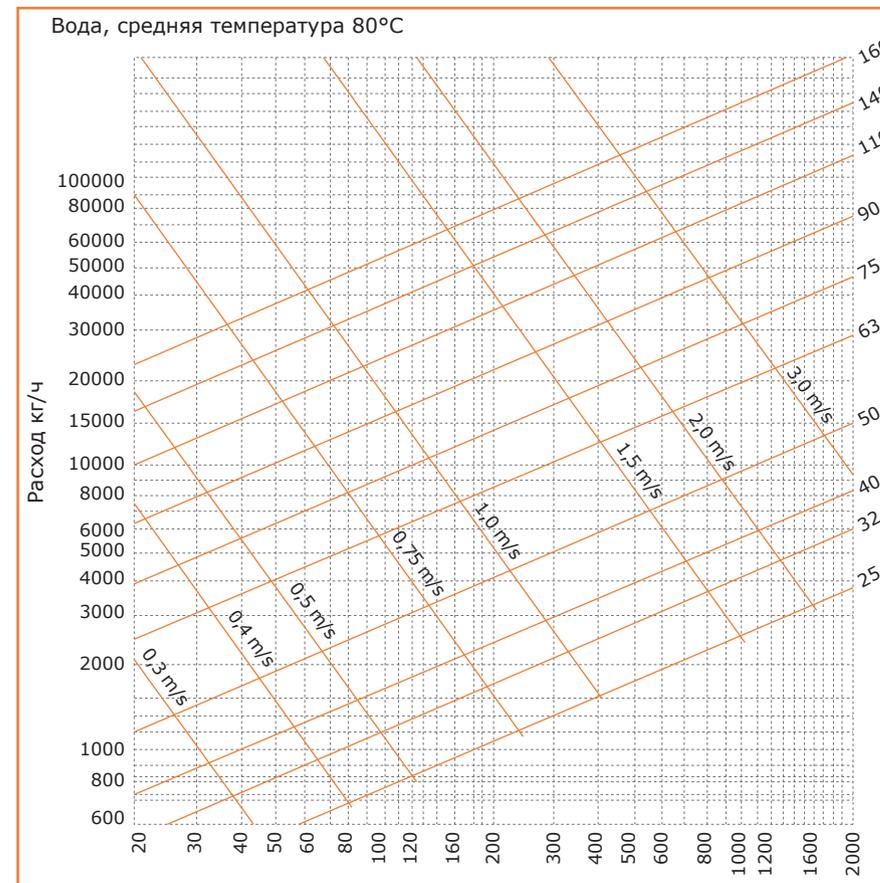
Коэффициент гидравлического трения: для области квадратичного закона

(при $Re \geq Re'$):

$$\lambda = \frac{1}{(1,14 + 21g \frac{D_i}{k_e})^2}, \quad (9)$$

для любого значения числа Рейнольдса (приближенно):

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_e}{D_i} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (10)$$



Нограмма для гидравлического расчета

Предельное число Рейнольдса, характеризующее границы областей: переходной и квадратичного закона

$$Re' = 560 \frac{D_i}{k_e}, \quad (11)$$

При отсутствии данных о характере и количестве местных сопротивлений на трубопроводах тепловых сетей суммарную эквивалентную длину местных сопротивлений на участке трубопроводов допускается определять умножением длины трубопровода на поправочный коэффициент $a_1 = 0,3$.

Примечание: Суммарная эквивалентная длина местных сопротивлений на участке трубопровода $l_e = l \cdot a_1$



Неподвижные опоры, компенсационные зоны

При проектировании внутриквартальных подземных сетей отопления и горячего водоснабжения с использованием труб ИЗОКОМ не требуется предусматривать специальных компенсаторов температурных расширений.

При бесканальной прокладке внутриквартальных сетей горячего водоснабжения гибкими трубопроводами ИЗОКОМ не требуется устройство промежуточных неподвижных опор.

Устройство неподвижных опор следует предусмотреть в местах присоединения гибких трубопроводов ИЗОКОМ к стальным трубопроводам на вводах в здания и сооружения со стороны стальных трубопроводов, чтобы вес стальных труб и арматуры не создавал дополнительные нагрузки на гибкие трубопроводы.

Установку спускников выполнять согласно СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети».

В тепловых камерах при необходимости следует предусмотреть установку металлических подпорок или каркасов для предотвращения провисания трубопроводов и арматуры, находящихся в камере.

Осевая нагрузка N_p , передаваемая в местах неподвижных креплений, определяется по формуле:

$$N_p = \frac{P \pi}{4} (D - 2s)^2 + \alpha \Delta T E F_{st}, \text{ где}$$

P — рабочее давление в трубопроводе, кгс;

D — наружный диаметр несущей трубы, см;

s — толщина стенка, см;

α — коэффициент линейного расширения, $1/^\circ\text{C}$ ($\alpha = 2,05 \cdot 10^{-4} 1/^\circ\text{C}$, при $T = 95^\circ\text{C}$);

E — модуль упругости, кгс/см² ($E = 1900$ кгс/см², при $T = 95^\circ\text{C}$);

F_{st} — площадь поперечного сечения стенки напорной трубы, см², где $F = \pi(D-s)s$;

Прочностной расчет

Прочностной расчет трубопроводов из полимерных материалов, уложенных в земле, рекомендуется сводить к соблюдению неравенства: для напорных трубопроводов

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_{pp}} + \frac{\varepsilon - \varepsilon_c}{\varepsilon_{pp}} \leq 1,0 \quad (12)$$

где

ε_p — максимальное значение деформации растяжения материала в стенке трубы из-за овальности поперечного сечения трубы под действием грунтов ($q_{гр}$, МПа) и транспортных нагрузок (q_t , МПа);

ε — степень растяжения материала стенки трубы от внутреннего давления воды в трубопроводе;

ε_c — степень сжатия материала стенки трубы от воздействия внешних нагрузок на трубопровод;

ε_{pp} — предельно допустимое значение деформации растяжения материала в стенке трубы, происходящей в условиях релаксации напряжений;

ε_{pp} — предельно допустимая деформация растяжения материала в стенке трубы в условиях ползучести;

Значение p может быть определено по формуле

$$\varepsilon_p = 4,27 K_\sigma \frac{S}{D} \Psi K_{3\Psi}, \quad (13)$$

где

K_σ — коэффициент постели грунта для изгибающих напряжений, учитывающий качество уплотнения, его можно принимать: при тщательном контроле — 0,75, при периодическом контроле — 1,0, при отсутствии контроля — 1,5;

$K_{3\Psi}$ — коэффициент запаса на овальность поперечного сечения трубы, принимается равным: 1,60 — для напорных и самотечных трубопроводов и 2,0 — для дренажных трубопроводов;

Ψ — относительное укорочение вертикального диаметра трубы в грунте, устанавливается как предельно допустимое значение

$$\Psi = K_{3\Psi} + \Psi_T + \Psi_M, \quad (14)$$

где

$K_{3\Psi}$ — относительное укорочение вертикального диаметра трубы под действием грунтовой нагрузки;

Ψ_T — то же, под действием транспортных нагрузок;

Ψ_M — относительное укорочение вертикального диаметра трубы, образовавшееся в процессе складирования, транспортировки и монтажа. Его можно приближенно принимать по **таблице**.

Таблица

Относительное укорочение вертикального диаметра трубы

Кольцевая жесткость G° оболочек трубы, Па	Ψ_M при степени уплотнения грунта		
	до 0,85	0,85-0,95	более 0,95
До 276 000	0,06	0,04	0,03
276 000-290 000	0,04	0,03	0,02
Больше 290 000	0,02	0,02	0,01

где, G° — кратковременная кольцевая жесткость оболочки трубы, МПа;



Значение $\Psi_{гр}$ может быть определено по формуле

$$\Psi_{гр} = K_{ок} \frac{K_{\tau} K_w q_{гр}}{K_{ж} G_o + K_{гр} E_{гр}} \quad (15)$$

где

K_{τ} - коэффициент, учитывающий запаздывание овальности поперечного сечения трубы во времени и зависящий от типа грунта степени его уплотнения, гидрогеологических условий, геометрии траншеи, может принимать значения от 1 до 1,5;

K_w - коэффициент прогиба, учитывающий качество подготовки ложа и уплотнения, можно принимать: при тщательном контроле - 0,09, при периодическом - 0,11, при бесконтрольном ведении работ - 0,13;

$K_{гр}$ - коэффициент, учитывающий влияние грунта засыпки на овальность поперечного сечения трубопровода, можно принять равным 0,06;

$E_{гр}$ - модуль деформации грунта в пазухах траншеи, МПа;

$K_{ж}$ - коэффициент, учитывающий влияние кольцевой жесткости оболочки трубы на овальность поперечного сечения трубопровода, можно принимать равным 0,15;

где
$$q_{гр} = \gamma H_{мп}, \quad (16)$$

γ - удельный вес грунта, Н/м³;

$H_{мп}$ - глубина засыпки трубопровода, считая от поверхности земли до уровня горизонтального диаметра, м;

G_o - кратковременная кольцевая жесткость оболочки трубы, МПа;

$$G_o = 53,7 \frac{E_o I}{(1 - \mu^2) (D - s)^3}, \quad (17)$$

где

E_o - кратковременный модуль упругости при растяжении материала трубы, МПа;

μ - коэффициент Пуассона материала трубы (коэффициент Пуассона материала труб может быть принят равным $\mu=0,43$);

I - момент инерции сечения трубы на единицу длины, определяемый по формуле нормативной документации;

$$I = \frac{s^3}{12}, \quad (18)$$

s - толщина стенки трубопровода, м;

$$\Psi = K_{ок} \frac{K_y q_{ГТ}}{K_{ж} G_o + K_{зп} n E_{зп}} \quad (19)$$

где

K_y - коэффициент уплотнения грунта;

$q_{ГТ}$ - транспортная нагрузка, принимаемая по справочным данным для гусеничного, колесного и другого транспорта, МПа;

n - коэффициент, учитывающий глубину заложения трубопровода, при $H < 1$ $n = 0,5$;

$K_{ок}$ - коэффициент, учитывающий процесс округления овализованной трубы под действием внутреннего давления воды в водопроводе (P , МПа)

$$K_{ок} = \frac{1}{1 + 2P/q_c \Psi} \quad (20)$$

где

q_c - суммарная внешняя нагрузка на трубопровод, МПа;

P - максимальное рабочее давление, МПа;

$$q_c = q_{зп} + q_{ГТ}, \quad (21)$$

$$\varepsilon = \frac{P}{2E_o} \cdot \frac{D}{s} \quad (22)$$

$$\varepsilon_c = \frac{q_c D}{2E_o s} \quad (23)$$

$$\varepsilon_{рп} = \frac{\sigma_o}{E_{\tau} K_3} \quad (24)$$

где

σ_o - кратковременная расчетная прочность при растяжении материала трубы, МПа;

E_o, E_{τ} - кратко- и долговременные значения модуля упругости при растяжении материала трубы на конец срока службы эксплуатации трубопровода, МПа;

$q_{зп}$ - нагрузка от грунта, МПа.

$$\varepsilon_{рп} = \frac{\sigma_o}{E_o K_3}, \quad (25)$$

где

K_3 - коэффициент запаса, должен приводиться в нормативных документах.

Если в результате расчетов значение левой части выражения будет больше 1, то следует повторить расчеты при других характеристиках материала труб или укладки трубопровода.

Далее проверяют устойчивость оболочки трубы против действия сочетания нагрузок: для напорных сетей грунтовые и транспортные q_c , от грунтовых вод, $q_{ГВ}$, а также возможного возникновения вакуума $q_{вак}$ в трубопроводе, для самотечных сетей $q_{гр} + q_{ГВ}$, для дренажных сетей с использованием выражения

$$\frac{K_{y2} K_{ов} \sqrt{n E_{зп} G_{\tau}}}{K_{3у}} \geq (q_c + q_{ГВ} + q_{вак}), \quad (26)$$

где

K_{y2} - коэффициент, учитывающий влияние засыпки грунта на устойчивость оболочки, можно принять 0,5, а для соотношения $q_{ГВ}$: $q_{ГТ} = 4:1$ - равным 0,07,

$K_{ов}$ - коэффициент, учитывающий овальность поперечного сечения трубопровода, при $0 \leq \varepsilon \leq 0,05$ $K_{ов} = 1 - 0,7\varepsilon$;

$K_{3у}$ - коэффициент запаса на устойчивость оболочки на действие внешних нагрузок, можно принять равным 3;

G_{τ} - длительная кольцевая жесткость оболочки трубы, МПа, определяется по формуле

$$G_{\tau} = \frac{4,475 E_{\tau}}{(1 - \mu^2)} \left(\frac{s}{D - s} \right)^3 \quad (27)$$