

1. Общие сведения о тепловых сетях
2. Оборудование тепловых сетей
3. Тепловой расчет сетей

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

Тепловая сеть — это система трубопроводов, по которым теплота при помощи теплоносителя (горячей воды или пара) передается от источника к тепловым потребителям.

Теплопроводом называют совокупность трех основных элементов — трубопровода, по которому транспортируется теплоноситель, тепловой изоляции и несущей конструкции, которая воспринимает вес названных элементов и усилия, возникающие при работе тепловой сети.

1) **По назначению** тепловые сети подразделяют:

- а) тепловые сети отопления и вентиляции;
- б) сети горячего водоснабжения.

2) **По применяемому теплоносителю** — водяные и паровые сети.

Сети отопления и сети горячего водоснабжения от одного источника теплоты к зданиям прокладывают параллельно. При этом применяют четырех-, двух- и однотрубную систему.

3) Теплопроводы тепловых сетей бывают:

- а) **магистральные**, прокладываемые по главным направлениям объектов теплоснабжения;
- б) **распределительные**, которые расположены между магистральными теплопроводами и узлами ответвлений;
- в) **ответвления** к отдельным потребителям (зданиям).

4) **В зависимости от схемы магистральных трубопроводов** различают **кольцевые** и **радиальные** (лучевые) системы.

В кольцевых тепловых сетях предусмотрены переключки между определенными магистральными направлениями, что делает схему более надежной, но связано с необходимостью большего расхода труб.

При небольших диаметрах магистралей, что характерно для сельских тепловых сетей, применяют радиальную схему сети с постоянным уменьшением диаметра труб по мере удаления от источника теплоснабжения. Такая сеть наиболее проста в эксплуатации и дешевая (по начальным затратам).

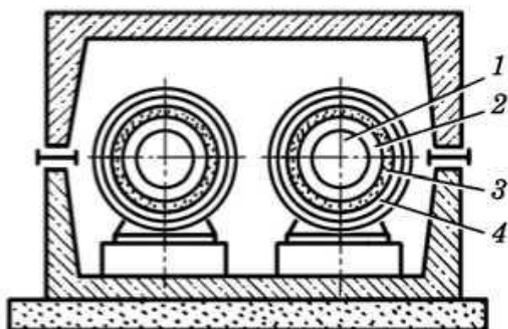


Рис. 1. Непереходные каналы из бетонных стеновых блоков:

- 1 — теплопровод; 2 — антикоррозионное покрытие; 3 — теплоизоляционный слой; 4 — защитно-механическое покрытие

В зависимости местных условий (состояния грунта, рельефа местности и климатических условий) и технико-экономических соображений тепловые сети могут быть подземными или надземными.

Надземная прокладка допускается на территории предприятий и площадках, свободных от застройки. В сельских населенных пунктах надземная прокладка может быть выполнена на низких опорах и опорах средней высоты.

Подземная прокладка бывает канальной и бесканальной. При канальной прокладке изоляционная конструкция трубопроводов не испытывает внешние нагрузки грунта, а при бесканальной прокладке — испытывает. Каналы сооружают проходными, полупроходными и непроходными.

Для подземной прокладки теплопроводов разработаны железобетонные элементы разных размеров, из которых собирают непроходные каналы для теплопроводов с воздушным зазором (рис. 1).

При бесканальной прокладке тепловых сетей существуют следующие способы обеспечения тепловой изоляции (рис. 2): засыпной и монолитный.

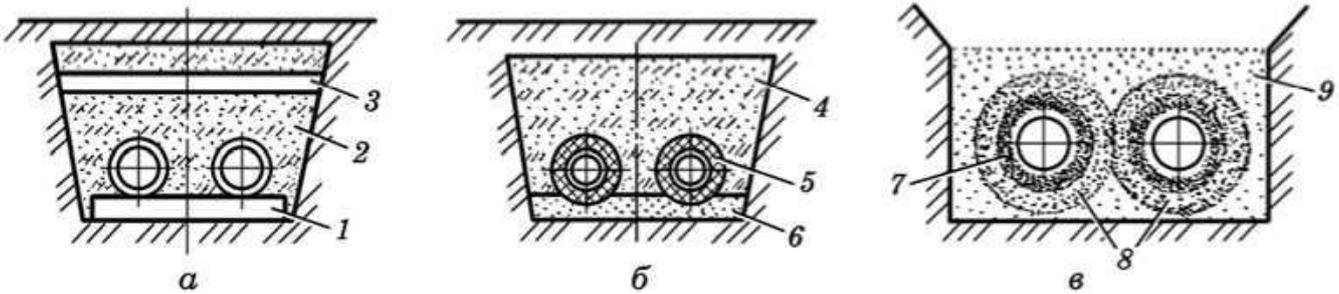


Рис. 2. Бесканальная прокладка теплопроводов:

а) засыпная; б) монолитная; в) из гидрофобных порошков; 1 — опоры; 2 — засыпная изоляция; 3 — слой утрамбованной глины; 4 — грунт; 5 — монолитная изоляция; б — песчаная засыпка; 7 — плотный слой; 8 — пористый слой; 9 — порошкообразный слой

Засыпную бесканальную прокладку (рис. 2, а) применяют в сухих непросадочных грунтах при температуре теплоносителя до 115 °С. При этом трубопроводы не имеют собственной теплоизоляции. В качестве теплоизоляции используют природные и искусственные материалы: крупнозернистый песок, гравий, фрезерный торф, керамзит, перлит и пр. Не рекомендуется применять котельные шлаки, так как они могут содержать агрессивные вещества — серу и сернистые соединения.

Монолитная бесканальная прокладка (рис. 2, б) допускается при температуре теплоносителя не более 180 °С. Монолитную теплоизоляцию выполняют в заводских условиях из армопенобетона, битумокерамзита, битумоперлита, из самоспекающихся порошков (например, **асфальтоизола**) и пр. Основные размеры монолитной оболочки зависят от диаметра трубопровода.

Перспективна тепловая изоляция из самоспекающихся порошков. При этом вокруг трубопроводов, засыпанных самоспекающимся порошком, под действием температуры теплоносителя образуется трехслойная конструкция (рис. 2, в): плотный водонепроницаемый слой, образованный при расплавлении порошка на поверхности труб; пористый слой из спекшихся отдельных частиц порошка — это основной теплоизоляционный слой, и порошкообразная засыпка как дополнительный теплоизоляционный слой.

Для бесканальной прокладки промышленным способом изготавливают теплопровод с битумоперлитовой изоляцией. Такая изоляция не имеет адгезии (сцепления) с наружной поверхностью трубы.

Другая модификация промышленной конструкции теплопроводов при бесканальной прокладке — трубы с оболочками из фенольного поропласта, которые имеют адгезию с поверхностью теплопровода.

Глубина закладки трубопроводов равна 0,5...1,0 м. Минимальный уклон водяных сетей принимается равным 0,002. Минимальный уклон паровых сетей по ходу пара — 0,002, а в направлении против хода пара — 0,01.

2. ОБОРУДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Для сооружения тепловых сетей используют стальные трубы (при диаметре до 400 мм — бесшовные).

Трубопроводы прокладывают с использованием подвижных и неподвижных опор.

Подвижные (свободные) опоры обеспечивают свободное перемещение трубопроводов при тепловых удлинениях и воспринимают их вес. Выполняют их скользящими для всех диаметров труб при любом способе прокладки и подвесными — при надземной прокладке.

Неподвижные опоры предназначены для фиксации трубопроводов и имеющих тепловые компенсаторы. Выполняют их опорными — при всех способах прокладки; щитовыми — при бесканальной прокладке, а также в непроходных каналах; хомутовыми — при надземной прокладке для закрепления трубопроводов на кронштейнах и балках.

Устанавливают неподвижные опоры в местах ответвлений трубопроводов, размещения арматуры и сальниковых компенсаторов.

Максимальные пролеты труб между подвижными опорами:

$L = 60$ м при $D = 25 \dots 50$ мм;

$L = 30$ м при $D = 80 \dots 400$ мм.

При бесканальной прокладке теплопроводов устанавливаются компенсаторы и повороты теплопроводов, участки, примыкающие к компенсаторам и поворотам, а также входы в камеры тепловых сетей и выходы из них. Длину перечисленных участков принимают равной $1,5 \dots 2,0$ м.

Тепловые компенсаторы — специальные устройства, которые используют для компенсации тепловых удлинений трубопроводов (рис. 3). Компенсаторы бывают 2-х видов:

- 1) изгибающиеся — угловые Г-образные повороты, а также П-образной и Ω-образной формы;
- 2) осевые — обеспечивают осевое перемещение трубопроводов.

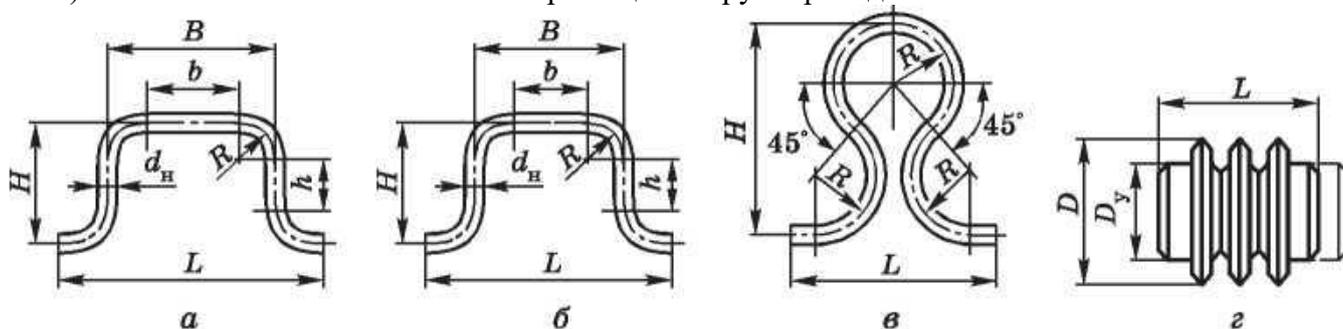


Рис. 3. Компенсаторы:

а) П-образный; б) П-образный равносторонний; в) лирообразный; г) линзообразный

Наиболее распространены **гибкие компенсаторы**. При проектировании тепловых сетей следует максимально использовать возможности естественной компенсации и в случае необходимости применять П-образные компенсаторы, которые не нуждаются в обслуживании и в устройстве тепловых камер.

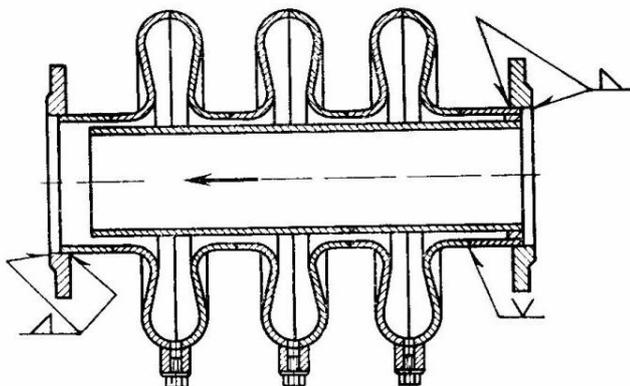


Рис. 4. Линзовый компенсатор

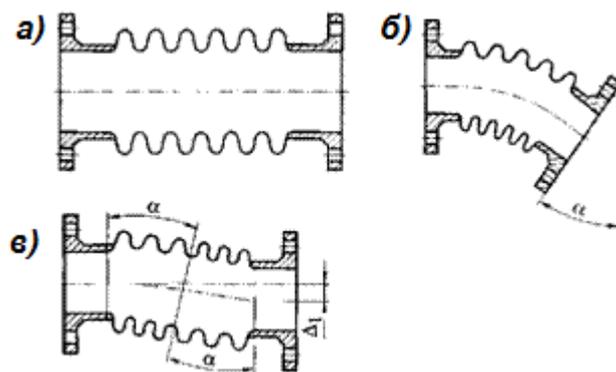


Рис. 5. Сильфонный компенсатор

Осевые компенсаторы бывают:

1) Телескопические или сальниковые скользящего типа. Они состоят из подвижных элементов - корпуса (стакана) и патрубка, между которыми находится сальниковое уплотнение. Корпус и патрубок имеют возможность перемещаться относительно друг друга в осевом направлении. Сальниковые компенсаторы чувствительны к перекосам осей подвижных элементов;

2) Линзовые и сильфонные (рис. 4 и 5), в которых происходит осевое сжатие и растяжение упругих элементов. Они характеризуются компактностью, меньшим расходом материалов на изготовление, сниженными гидравлическими сопротивлениями. Однако такие компенсаторы более сложны по устройству и в эксплуатации.

К недостаткам гибких компенсаторов относятся: большая стоимость тепловых сетей, повышенное гидравлическое сопротивление, большие затраты на строительство специальных камер для компенсаторов и трудности их размещения, особенно в жилых поселках.

Для регулирования тепловых режимов и управления работой тепловых сетей предусматривают запорную, регуливающую и предохранительную арматуру.

Запорную арматуру следует устанавливать:

- а) на всех трубопроводах, соединяющих тепловые сети с источниками теплоснабжения;
- б) на трубопроводах ответвлений к отдельным зданиям;
- в) на трубопроводах узлов ответвлений при условном диаметре трубопровода не менее 100 мм;
- г) на трубопроводах водяных тепловых сетей на расстоянии не более 1000 м друг от друга с устройством переключки между подающим и обратным трубопроводами, причем диаметр переключки должен составлять 30 % диаметра трубопровода, но не менее 50 мм;
- д) на переключке (две задвижки и спускной контрольный кран между ними).

3. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ СЕТЕЙ

Целью теплового расчета тепловых сетей является:

- выбор конструкции и толщины тепловой изоляции;
- определение тепловых потерь на отдельных участках теплопровода и общих потерь тепловой сети;
- построение температурного поля вокруг теплопровода для расчета температуры изоляции, воздуха в канале, стен каналов, грунта;
- вычисление падений температуры теплоносителя на участках тепловой сети.

Методика расчета тепловых потерь зависит от характера прокладки тепловых сетей и количества труб теплопроводов.

Канальная прокладка теплопровода

При канальной прокладке однетрубного теплопровода и наличии воздушной прослойки между изолированным теплопроводом и стенками канала удельные потери теплоты в окружающую среду определяются:

$$q = \Delta t / \Sigma R, \text{ Вт/м} \quad (1)$$

где $\Delta t = t_T - t_B$ — разность температур теплоносителя t_T и грунта $t_{ГР}$ на глубине заложения оси теплопровода, °С;

ΣR — сумма последовательно расположенных тепловых сопротивлений:

$$\Sigma R = R_{из} + R_{н.п} + R_{п.к} + R_{с.к} + R_{гр}, \text{ м} \cdot \text{К/Вт} \quad (2)$$

где $R_{из}$ — тепловое сопротивление изоляции, м·К/Вт;

$R_{н.п}$ — тепловое сопротивление при теплоотдаче от наружной поверхности изоляции к воздуху в канале, м·К/Вт;

$R_{п.к}$ — тепловое сопротивление при теплоотдаче от воздуха к внутренней поверхности канала, м·К/Вт;

$R_{с.к}$ — тепловое сопротивление стенки канала, м·К/Вт;

$R_{гр}$ — тепловое сопротивление грунта, м·К/Вт.

Тепловое сопротивление слоя изоляции:

$$R_{\text{из}} = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{из}}} \ln \frac{d_1 + 2\delta_{\text{из}}}{d_1}, \text{ м}\cdot\text{К}/\text{Вт} \quad (3)$$

где $\lambda_{\text{из}}$ — коэффициент теплопроводности материала изоляции, Вт/(м·К);
 d_1 — внутренний диаметр слоя изоляции, м;
 $\delta_{\text{из}}$ — толщина слоя изоляции, м.

Тепловое сопротивление при теплоотдаче от наружной поверхности изоляции:

$$R_{\text{н.п}} = \frac{1}{\pi d_2 \alpha_{\text{н.п}}}, \text{ м}\cdot\text{К}/\text{Вт} \quad (4)$$

где d_2 — наружный диаметр слоя изоляции, м;

$\alpha_{\text{н.п}}$ — коэффициент теплоотдачи наружной поверхности тепловой изоляции к воздуху, Вт/(м²·К).

Коэффициент теплоотдачи $\alpha_{\text{н.п}}$ наружной поверхности тепловой изоляции представляет собой сумму двух слагаемых

$$\alpha_{\text{н.п}} = \alpha_{\text{л}} + \alpha_{\text{к}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К}) \quad (5)$$

где $\alpha_{\text{л}}$ — коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием, Вт/(м²·К);

$\alpha_{\text{к}}$ — коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м²·К).

Коэффициент теплоотдачи, наружной поверхности изолированного теплопровода при вынужденной конвекции воздуха можно рассчитать по эмпирической формуле:

$$\alpha_{\text{н.п}} = 11,63 + 6,98\sqrt{v_{\text{в}}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К}) \quad (6)$$

Тепловое сопротивление при теплоотдаче к внутренней поверхности канала определяется:

$$R_{\text{п.к}} = \frac{1}{\alpha_{\text{п.к}} \Pi_{\text{к}}}, \text{ м}\cdot\text{К}/\text{Вт} \quad (7)$$

Тепловое сопротивление стенок прямоугольного канала определяют:

$$R_{\text{с.к}} = \frac{\delta_{\text{к}}}{\lambda_{\text{с.к}} \Pi_{\text{к}}}, \text{ м}\cdot\text{К}/\text{Вт} \quad (8)$$

где $\alpha_{\text{п.к}}$ — коэффициент теплоотдачи от воздуха к внутренним поверхностям стенок канала, Вт/(м²·К);

$\Pi_{\text{к}}$ — внутренний периметр канала, м;

$\delta_{\text{к}}$ — толщина стенок канала, м;

$\lambda_{\text{с.к}}$ — коэффициент теплопроводности материала стенок канала, Вт/(м·К).

Тепловое сопротивление грунта $R_{\text{гр}}$ определяют в зависимости от отношения глубины заложения оси теплопровода h к его диаметру d . Так, при отношении $h/d < 2$:

$$R_{\text{гр}} = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{гр}}} \ln \left(2 \frac{h}{d} + \sqrt{\frac{4h^2}{d^2} - 1} \right), \text{ м}\cdot\text{К}/\text{Вт} \quad (9)$$

где $\lambda_{\text{гр}}$ — коэффициент теплопроводности грунта, Вт/(м·К);

h — глубина залегания теплопровода, м.

При температуре грунта на глубине заложения оси теплопровода 10...40 °С коэффициент теплопроводности $\lambda_{гр} = 1,163...2,326$ Вт/(м·К).

Бесканальная прокладка теплопровода

В случае бесканальной прокладки однетрубной тепловой сети тепловое сопротивление теплопровода равно сумме сопротивлений слоя изоляции $R_{из}$ и грунта $R_{гр}$. Тогда удельные потери теплоты определяются:

$$q = \frac{\Delta t}{R_{из} + R_{гр}}, \text{ Вт/м} \quad (10)$$

При бесканальной прокладке многотрубной тепловой сети тепловой расчет выполняют с учетом дополнительного теплового сопротивления $R_{доп}$.

Для двухтрубного теплопровода дополнительное сопротивление определяют по формуле:

$$R_{доп} = \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln \sqrt{1 + \frac{2h}{b}}, \text{ м·К/Вт} \quad (11)$$

где b — горизонтальное расстояние между осями труб, м.

Удельные тепловые потери в двухтрубном бесканальном теплопроводе вычисляют отдельно для каждой трубы.

Так, тепловые потери в первой трубе:

$$q_1 = \frac{(t_{т1} - t_{гр})R_2 - (t_{т2} - t_{гр})R_{доп}}{R_1R_2 - R_{доп}^2}, \text{ Вт/м} \quad (12)$$

где R_1 — сумма тепловых сопротивлений изоляции первой трубы и окружающего грунта ($R_1 = R_{из1} + R_{гр}$);

R_2 — сумма тепловых сопротивлений изоляции второй трубы и окружающего грунта ($R_2 = R_{из2} + R_{гр}$).

Тепловые потери во второй трубе:

$$q_2 = \frac{(t_{т2} - t_{гр})R_2 - (t_{т1} - t_{гр})R_{доп}}{R_1R_2 - R_{доп}^2}, \text{ Вт/м} \quad (13)$$

Надземная прокладка теплопровода

Порядок расчета тепловых потерь при надземной прокладке тепловых сетей такой же, как и при подземной.

Удельные тепловые потери для надземных тепловых сетей определяются:

$$q = \frac{\Delta t}{R_{из} + R_{н.п}}, \text{ Вт/м} \quad (14)$$

где $\Delta t = t_T - t_B$ — разность температур теплоносителя t_T и окружающего теплопровод воздуха t_B , °С;

Общие потери теплоты в тепловых сетях:

$$Q_{общ} = ql + ql_{э} = q(l + l_{э}), \text{ Вт} \quad (15)$$

где l — длина теплопровода, м;

$l_{э}$ — эквивалентная длина местных сопротивлений, м (учитываются теплотери компенсаторов, колен, отводов и т. п.).

Качество теплоизоляции оценивается по ее КПД:

$$\eta_{из} = 1 - \frac{Q_{из}}{Q_H} \quad (16)$$

где $Q_{из}$ — потери теплоты изолированной трубой;
 Q_H — потери теплоты неизолированной трубой.

Для различной изоляции $\eta_{из} = 0,85 \dots 0,95$.