

## ТЕМА 8

### КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

#### 8.1 Трубы и арматура

**Трубы** являются наиболее ответственными элементами тепловых сетей, поэтому современная техника строительства предъявляет к ним ряд эксплуатационных требований: 1) высокая прочность и герметичность, необходимые для безаварийного транспорта теплоносителя под большим давлением и с высокой температурой; 2) малый коэффициент линейного удлинения, обеспечивающий низкие термические напряжения при переменных температурных режимах теплоносителя; 3) антикоррозионная стойкость; 4) высокое термическое сопротивление стенок труб, способствующее сохранению теплоты и температуры теплоносителя; 5) неизменность свойств материала труб при длительном воздействии высоких температур и давлений; 6) небольшая стоимость, простота монтажа, надежность соединения и хранения труб и др.

Имеющиеся трубы не удовлетворяют в полной мере всей совокупности предъявляемых требований. Неметаллические трубы из асбестоцемента, стекла, полимеров (полиэтилен и полипропилен) и винилпласта обладают высокой антикоррозионной стойкостью и значительно дешевле стальных труб. Стекланные и полимерные трубы имеют гладкие внутренние поверхности, что обеспечивает им по сравнению со стальными трубами равных диаметров меньшие гидравлические сопротивления. Но асбестоцементные и стекланные трубы хрупки, соединяются сложными стыковыми конструкциями. Из неметаллических труб только винилпластовые трубы и трубы из полимерных материалов обладают высокой эластичностью и хорошо соединяются сваркой. Эти качества труб особенно ценны для монтажа внутренних систем горячего водоснабжения и конденсатопроводов. По данным исследований ВТИ неметаллические трубы могут применяться при температурах до 100°C (винилпластовые до 60°C) и давлениях до 0,6 МПа в прокладках, доступных для постоянного наблюдения.

Тепловые сети сооружаются из более прочных стальных труб. Трубопроводы тепловых сетей при рабочем давлении пара более 0,07 МПа и температуре воды более 115°C делятся на 4 категории. Выбор материалов и расчеты таких трубопроводов должны производиться по требованиям «Правил устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и го-

рячей воды». Согласно этим правилам подбор труб, запорно-регулирующей арматуры, фланцев и других устройств производится по условным давлениям и проходам.

Под *условным давлением*  $P_y$  понимается наибольшее давление, допустимое для длительной эксплуатации трубы или изделия при температуре 20°C. С повышением температуры теплоносителя допустимое давление должно уменьшаться и это фактическое допустимое давление называется рабочим. Связь между рабочим  $P_{\text{раб}}$  и условным давлением определяется зависимостью

$$P_{\text{раб}} = \varepsilon P_y, \quad (8.1)$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от температуры.

Под *условным проходом*  $D_y$  подразумевается номинальный внутренний диаметр трубы или изделия. Трубы с каким-то условным диаметром имеют постоянный наружный диаметр и отличаются лишь толщиной стенки.

В тепловых сетях применяются в основном бесшовные горячекатаные и электросварные трубы. Бесшовные горячекатаные трубы выпускаются с наружными диаметрами 32 – 426 мм. Электросварные прямошовные и со спиральным швом изготавливаются с наружными диаметрами более 426 мм.

Бесшовные горячекатаные и электросварные прямошовные трубы с калиброванными торцами допускается использовать при всех способах прокладки сетей. Электросварные со спиральным швом рекомендуются для воздушных и канальных прокладок.

Стальные трубы соединяются между собой на электрической или газовой сварке. Наплавленный металл в сварном стыке может уступать прочности цельной стенки трубы. Прочность стыка еще более ослабляется в результате непровара металла, образования пустот и попадания в шов неметаллических включений. Поэтому в процессе монтажа трубопроводов сварные стыки должны быть подвергнуты механическому и кристаллографическому контролю по соответствующим техническим условиям.

В действующем теплопроводе возникают многочисленные напряжения. Внутреннее давление теплоносителя вызывает в стенках труб растягивающие напряжения, направленные по оси трубы и по радиусу. Под действием собственной массы трубы, массы теплоносителя и тепловой изоляции в трубопроводе образуются изгибающие напряжения. Температурные де-

формации трубопровода вызывают сжимающие и изгибающие напряжения от трения опор, усилий гнутых компенсаторов и участков естественной компенсации. В узлах с пространственными изгибами трубопровода возможны скручивающие напряжения. В надземных и бесканальных прокладках на трубопроводы действуют дополнительные нагрузки от массы снега, давления ветра, грунта и транспорта.

Расчет труб на прочность сводится к определению допустимого суммарного напряжения и толщины стенки трубы. Наружные водяные сети с давлением до 1.6 МПа и температурой до 200°С рассчитываются на внутреннее давление по формулам:

$$\frac{P_{раб} \cdot d_v \cdot n}{2S} \leq s_{рас}; \quad (8.2)$$

$$\frac{P_{раб} \cdot d_v \cdot n}{2S} \leq 0,9s_T, \quad (8.2a)$$

где  $P_{раб}$  – рабочее давление теплоносителя, Па;  $d_v$  – внутренний диаметр трубы, см;  $n$  – коэффициент перегрузки ( $n=1,1$ );  $S$  – толщина стенки трубы, см;  $s_{рас}$  – расчетное сопротивление металла трубы, Па;  $s_T$  – предел текучести, Па.

Расчетное сопротивление металла трубы определяется по формуле

$$s_{рас} = s_{сп} \cdot K_1 \cdot m_1 \cdot m_2, \quad (8.3)$$

где  $s_{сп}$  – допустимое напряжение разрыву, Па;  $K_1$  – коэффициент однородности металла при разрыве (для бесшовных труб  $K_1=0,8$ , для сварных – 0,85);  $m_1$  – коэффициент условий работы металла при разрыве ( $m_1 = 0,8$ );  $m_2$  – коэффициент условий работы трубопровода (для магистральных трубопроводов  $m_2 = 0,6$ , для распределительных – 0,75).

Толщина стенки трубы определяется по формулам

$$S = \frac{P_{раб} d_v n}{2(s_{рас} + nP_{раб})}; \quad (8.4)$$

$$S = \frac{P_{раб} d_n n}{2(0,9S_T + nP_{раб})}, \quad (8.4a)$$

где  $d_n$  – наружный диаметр трубы, см.

По формулам (8.2) – (8.4) выбирается наименьшее напряжение и наибольшая толщина стенки трубы.

**Запорная, регулирующая и предохранительная арматура** предназначена для регулирования режимов потребления теплоты и управления работой тепловых сетей. Арматура изготавливается из сталей, чугуна, цветных металлов и пластмасс. В тепловых сетях чаще всего принимается стальная арматура. Чугун уступает по прочности стали, поэтому область применения чугунной арматуры ограничена давлением 0,07 МПа (для пара) и температурой 115°C (для воды). Чугунная арматура должна размещаться на прямых участках труб, защищенных от изгибающих усилий. Ограничивается применение чугунной арматуры и на открытом воздухе с низкими отрицательными температурами, она более надежна в закрытых помещениях с постоянной температурой воздуха. Арматура из цветных металлов дефицитна, а пластмассовая – малопрочна, поэтому в сетях они не нашли широкого применения.

*Вентили* имеют запорный орган в виде золотника, который при закрытии плотно прилегает к седлу, создавая высокую герметичность перекрытия проходного отверстия. Крышка вентиля крепится на корпусе болтами или на резьбе. Подтяжка сальникового уплотнения производится двумя откидными болтами, укрепленными на крышке, или накладной гайкой.

Вентили бывают фланцевые и бесфланцевые. Бесфланцевые вентили подразделяются на приварные и муфтовые. Бесфланцевые приварные вентили соединяются с трубами на сварке и применяются на теплопроводах с давлением  $P_y \leq 1,6$  МПа на резьбе.

Потеря давления теплоносителя в проходных сечениях вентиля зависит от расположения шпинделя. Вентили с наклонным расположением шпинделя (типа «Косва» и прямоточные) имеют наименьшее гидравлическое сопротивление. На трубопроводах вентили устанавливаются так, чтобы теплоноситель поступал под золотник, чем достигается уменьшение усилий на их открытие и предупреждается отрыв золотника от шпинделя.

*Задвижки* по конструктивному исполнению разделяются на клиновые и параллельные, с выдвигаемым и невыдвигаемым шпинделем. Стальные задвижки имеют клиновое уплотнение, чугунные – параллельное. Уплот-

нение создается уплотнительными кольцами из бронзы или нержавеющей стали. Кольца запрессовываются на дисках клинбев и в корпусе.

В клиновых задвижках затвор состоит из сплошного или двухдискового клина, уплотнение обеспечивается путем прилегания плоскостей колец клина к плоскостям колец корпуса. При опускании двухдискового клина разжимной клин, находящийся между дисками, упирается в дно корпуса и распирает диски, плотно прижимая их к уплотнительным кольцам корпуса.

В параллельных задвижках затвор состоит из двух дисков с плоскими параллельно расположенными уплотнительными поверхностями. Закрытие задвижки производится аналогично клиновой задвижке с двухдисковым клиновым затвором.

В задвижках с выдвижным шпинделем маховиком вращается запрессованная в его ступицу гайка, которая сообщает шпинделю поступательное движение. Диски или клин соединены с выдвижным шпинделем шарнирно. В задвижках с невыдвижным шпинделем при вращении маховика происходит подъем или опускание дисков при помощи гайки, накрученной на нижнем конце шпинделя. Крупные задвижки выпускаются с обводными линиями. Открытием байпасных задвижек на таких линиях давление с обеих сторон запорного диска выравнивается, в результате усилие открытия арматуры уменьшается. На трубопроводах с диаметрами более 500 мм устанавливаются задвижки с электроприводом. На горизонтальных трубопроводах задвижки с  $D_y < 500$  мм и с ручным управлением устанавливают «маховиком вверх» или в любом положении в пределах  $90^\circ$  между вертикальным и горизонтальным расположениями шпинделя. Установка задвижек шпинделем вниз не допускается, так как при открытых задвижках дисковые гнезда заносятся продуктами коррозии и закрытие дисков нарушается. Бесфланцевые задвижки присоединяются к трубам на сварке и применяются на ответственных теплопроводах высокого давления.

*Фланцы* применяются для присоединения на трубопроводах различной фланцевой арматуры. Подбираются фланцы по условным проходам и давлениям, на которые рассчитаны трубы. В водяных тепловых сетях и паропроводах с  $P_y < 2,5$  МПа наибольшее распространение получили плоские приварные фланцы. Фланцевые соединения по плотности и прочности уступают сварным соединениям, однако их применение облегчает смену арматуры при ремонтных операциях.

*Заглушки* используются для отключения участков теплопроводов и ответвлений на период ремонтов или гидравлических испытаний сетей, а

также для заглушения торцов труб. Заглушки, как и фланцы, подбираются по условным давлениям и проходам. Плотность фланцевых соединений при давлении до 4 МПа и температуре до 450°С обеспечивается прокладками из паронита толщиной 1 – 2 мм. Применение толстых прокладок не рекомендуется, так как при этом увеличивается опасность их разрыва давлением теплоносителя и возникают перекосы фланцевых соединений.

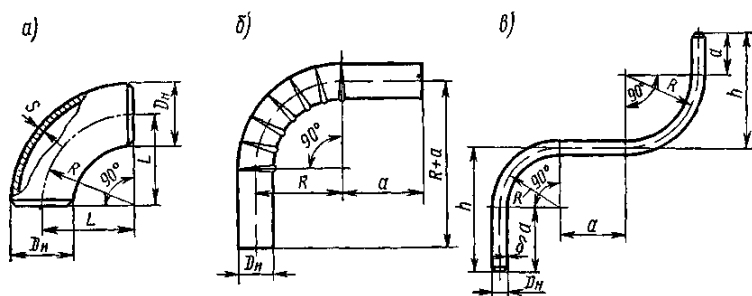


Рис 8.1 Отводы гнутые:

а – гладкий крутозагнутый ( $R=D_H$ ), б – со складками; в – гладкий нормальный ( $R=3,5 D_H$ )

*Фасонные изделия* (отводы, тройники, крестовины, переходы диаметров) рекомендуется выполнять по размерам междуведомственных нормалей (МВН). С целью увеличения механической прочности изделия изготовляют из труб с повышенной (на 1 – 3 мм) толщиной стенки.

*Отводы* бывают гнутыми и сварными. Основной характеристикой отводов является радиус изгиба осевой линии трубы  $R$ . Гнутые отводы различаются на гладкие и со складками (рис. 8.1). Гладкие отводы изготовляют из бесшовных труб для условных проходов  $D_y \leq 400$  мм. Крутозагнутые гладкие отводы с радиусом изгиба, равным наружному диаметру трубы ( $R = D_H$ ), изготовляют на заводах протяжки гидравлическими домкратами отрезка трубы в горячем состоянии через специальную изогнутую насадку.

Нормальные гладкие отводы с радиусом изгиба  $R = 3,5 D_H$ , изготовляют при нагреве трубы до  $\sim 1100^\circ\text{C}$  и с набивкой песком. Плотная набивка песка в трубу предупреждает возникновение овальности сечения и быстрое остывание изделия, вызывающее дополнительное напряжение металла. Отводы с радиусом  $R > 3,5 D_H$  изготовляют на трубогибных станках путем изгиба труб в холодном состоянии и без набивки песком. Нормальные

гладкие отводы получают громоздкими. Гладкие отводы отличаются от других большой эластичностью и меньшим гидравлическим сопротивлением, поэтому рекомендуются к широкому применению в тепловых сетях без ограничения параметров теплоносителя.

Гнутые отводы со складками изготавливают при местном разогреве трубы. Число складок зависит от диаметра трубы и радиуса изгиба.

Каждая складка получается после одного разогрева и немедленного изгиба трубы. Такие отводы с радиусом до 2 – 4 диаметров самые эластичные, но имеют самое большое гидравлическое сопротивление.

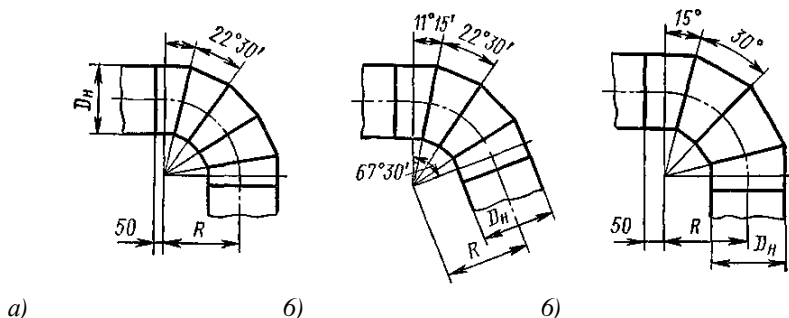


Рис. 8.2 Сварные отводы:

*a* – пятисекторный; *б* – четырехсекторный под углом  $67^{\circ}30'$ ; *в* – четырехсекторный под углом  $90^{\circ}$

В пространственных конструкциях трубопроводов между отводами должен оставаться прямой участок трубы (рис. 8.1в) длиной  $a \geq D_y$ , а при  $D_y < 100$  мм прямой участок трубы принимается не менее 100 мм. Крутозагнутые отводы допускается сваривать между собой без прямого участка.

Сварные отводы (рис. 8.2) применяют при сооружении тепловых сетей больших диаметров ( $D_y > 400$  мм) с давлением теплоносителя до 2,2 МПа и температурой до  $350^{\circ}\text{C}$ .

Отводы изготавливают из электросварных труб и собирают на сварке из секторов с углами скоса  $11^{\circ}15'$  и  $15^{\circ}$ . Гидравлическое сопротивление сварных колен с углами скосов  $11^{\circ}15'$  несколько меньше, чем с углами  $15^{\circ}$ . Радиусы отводов принимаются равными  $R = (1 + 3) D_H + 50$  мм. По гибкости сварные отводы мало уступают гладкоизогнутым, а по компактности намного превосходят их. Сварные колена диаметром до 400 мм часто применяют для получения малогабаритных отводов.

Переходы диаметров (рис. 8.3) шпампованные или сварные применяют для стыкования труб различных диаметров. Эксцентрисические переходы устанавливают для выравнивания низа стыкуемых трубопроводов, облегчающего удаление конденсата из паропроводов и опорожнение водяных тепловых сетей на горизонтальных участках. При эксцентрисических (несимметричных) переходах возможно применение скользящих опор одинаковой высоты. Концентрические (симметричные) переходы допускается устанавливать на вертикальных участках трубопроводов. Длина переходов принимается не менее удвоенной разности большого и малого диаметров труб.

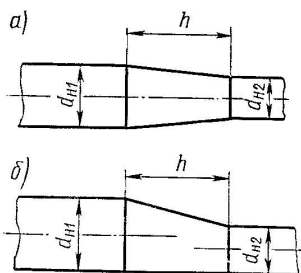


Рис. 8.3. Переходы диаметров:  
а - концентрический,  
б - эксцентрисический

### 8.3 Опоры трубопроводов

Опорные конструкции по своему назначению подразделяют на подвижные и неподвижные.

*Подвижные опоры* (рис. 8.4) воспринимают вес теплопровода и обеспечивают ему свободное перемещение на строительных конструкциях.

Подвижные опоры используют при всех способах прокладки, кроме бесканальной. По принципу свободного перемещения различаются опоры скольжения, качения и подвесные. Скользящие опоры бывают самых разнообразных конструкций.

Все они свободно опираются на несущие строительные конструкции. Для уменьшения сил трения и истирания несущих конструкций в бетон заливают стальную опорную плиту с приваренными к ней лапами для скрепления с бетоном. Типовые конструкции опор выполняют высокими и низкими. Высокие опоры (140 мм) применяют для трубопроводов с толщиной теплоизоляции более 80 мм; низкие опоры (90 мм) используют для прокладки трубопроводов с толщиной тепловой изоляции до 80 мм.

Отверстия в боковых ребрах опор предназначены для закрепления тепловой изоляции над опорой с помощью проволоки. Опоры скользящего типа применяют при всех способах прокладки трубопроводов различных диаметров.



С увеличением диаметров трубопроводов более 175 мм трение на опорах существенно возрастает. Для уменьшения сил трения применяют опоры качения, разделяющиеся на катковые, роликовые и шариковые.

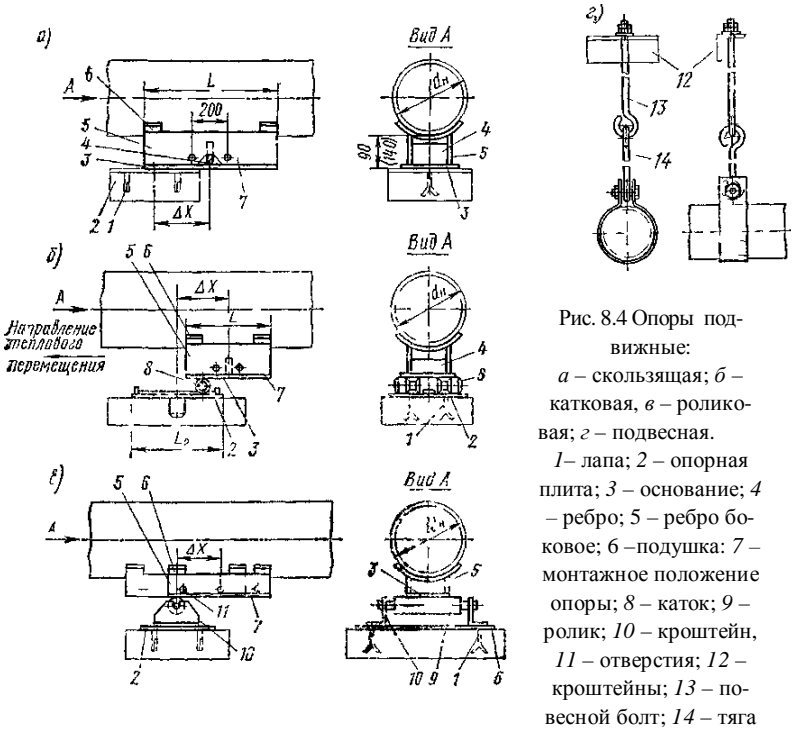


Рис. 8.4 Опоры подвижные:  
 а – скользящая; б – катковая, в – роликовая; г – подвесная.  
 1 – лапа; 2 – опорная плита; 3 – основание; 4 – ребро; 5 – ребро боковое; 6 – подушка; 7 – монтажное положение опоры; 8 – каток; 9 – ролик; 10 – кроштейн, 11 – отверстия; 12 – кроштейны; 13 – повесной болт; 14 – тяга

Для вращения катков без скольжения по опорной поверхности необходимо, чтобы горизонтальная сила  $P_T$  трубопровода превышала силы трения качения катка:

$$P_e \geq P_v \frac{f_1 + f_2}{2R}, \quad (8.5)$$

где  $P_v$  – вертикальная нагрузка на опору, Н;  $f_1$  – плечо (коэффициент) трения качения при соприкосновении катка с трубопроводом, м;  $f_2$  – плечо (коэффициент) трения качения при соприкосновении катка с опорной поверхностью, м;  $R$  – радиус катка, м

Свободное вращение ролика без заедания в цапфах обеспечивается условием

$$P_2 \geq P_6 \frac{f_1 + m \cdot r}{R}, \quad (8.6)$$

где  $f_1$ —плечо (коэффициент) трения качения при соприкосновении ролика с трубопроводом, м;  $\mu$ — коэффициент трения скольжения цапфы;  $r$ —радиус цапфы, м;  $R$ — радиус ролика, м.

При плохом уходе катки и ролики перекашиваются и заклинивают. Заклиненные опоры быстро корродируют, и коэффициент трения в опорах увеличивается. Исследования показали, что искусственно деформированные катки с большими вмятинами все же имеют меньший коэффициент трения, чем скользящие опоры. Поэтому опоры качения рекомендуется применять для разгрузки отдельных стоек, мачт, кронштейнов, не рассчитанных на большие горизонтальные нагрузки, при прокладках трубопроводов диаметром более 175 мм надземным способом и в проходных каналах.

**Катковые и роликовые** опоры надежно работают на прямолинейных участках сети. На поворотах трассы трубопроводы перемещаются не только в продольном, но и в поперечном направлении. Поэтому установка катковых, а иногда и роликовых опор на криволинейных участках трубопроводов не рекомендуется. Эти ограничения снимаются при использовании шариковых опор. Радиус шариковой опоры может быть установлен из формулы (8.5) при  $f_1 = f_2$ . Шариковые опоры применяют в тех же случаях и с той же целью, что и катковые и роликовые опоры, и часто вместо них, особенно на участках горизонтального перемещения трубопроводов под углом к оси трассы.

**Подвесные опоры** применяют для прокладки водопроводов небольшого диаметра, а также более легких паропроводов диаметром до 500 мм. Нежесткая конструкция подвески позволяет опоре легко поворачиваться и перемещаться вместе с трубопроводом.

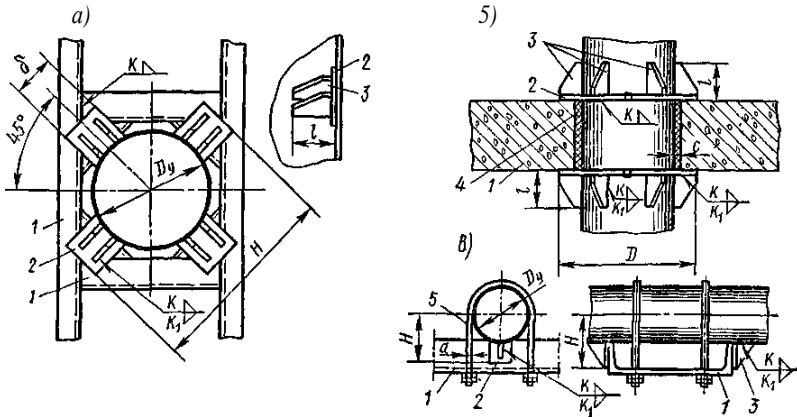


Рис. 8.5 Опоры неподвижные:

*a* – лобовые; *б* – щитовые; *в* – хомутовые; 1 – упорная конструкция; 2 – упорная пластина; 3 – косынка. 4 – асбестовый шнур; 5 – хомут

В результате по мере удаления от неподвижной опоры углы поворота подвесок увеличиваются, соответственно возрастает перекося трубопровода и напряжение в тросах под действием вертикальной нагрузки трубопровода. В силу этого трудно добиться равномерной нагрузки опор и горизонтальности подвешенного трубопровода, поэтому при подвесных опорах недопустимо применение сальниковых компенсаторов, весьма чувствительных к перекосям.

Неравномерность нагрузки опор уменьшается с использованием более дорогих пружинных подвесных опор, в которых равномерное распределение усилий обеспечивается регулировкой натяжения пружин. Пружинные подвесные опоры целесообразно применять на участках вертикального перемещения трубопроводов.

*Неподвижные опоры* (рис. 8.5) служат для разделения теплопроводов на участки, независимые друг от друга в восприятии усилий от температурных деформаций и внутреннего давления. Размещают неподвижные опоры между компенсаторами и участками трубопроводов с естественной компенсацией температурных удлинений. Неподвижное закрепление трубопроводов выполняют различными конструкциями в зависимости от способа прокладки сетей.

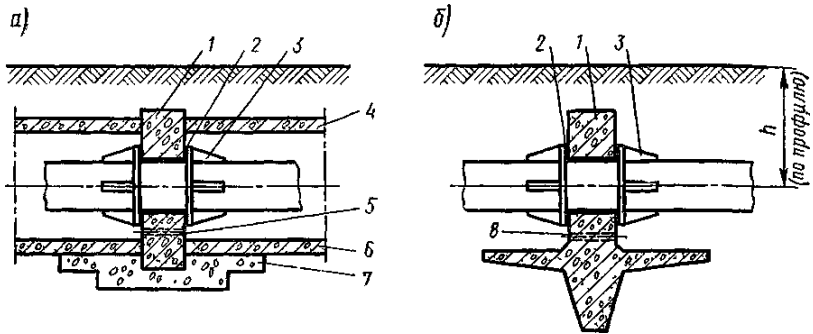


Рис. 8.6 Установка щитовой неподвижной опоры:

*а* – в непроходных каналах; *б* – в бесканальных прокладках; 1 – упорная стена; 2 – асбестовая прокладка; 3 – лобовая опора; 4 – перекрытие; 5 – дренажное отверстие; 6 – дно канала; 7 – опорная бетонная подушка; 8 – отверстие для пропуска дренажной трубы

*Лобовые* опоры применяют главным образом в камерах, проходных и полупроходных каналах. Упорную конструкцию выполняют из швеллеров разных номеров, заделанных в днищах и перекрытиях сооружения.

*Щитовые* опоры используют для неподвижного защемления труб в камерах, непроходных каналах и при бесканальных прокладках (рис. 8.6). Осевая нагрузка трубопроводов через щитовые опоры передается на дно и стенки канала, а в бесканальных прокладках – на вертикальную плоскость грунта. Отверстия в упорных стенках делают на 20 – 40 мм больше диаметра теплопровода. Зазор заполняют картонным или шнуровым асбестом, предупреждающим разрушение бетона при высоких температурах теплоносителя. Большой зазор обеспечивает также свободное перемещение трубы при просадке теплопровода. Дренажное отверстие в стенке делают на уровне дна канала для пропуска дренируемой воды.

*Хомутовые* неподвижные опоры удобны для закрепления труб, уложенных на балках, кронштейнах и других устройствах.

Провисание трубопровода во многом зависит от размещения точек опоры. Равномерное распределение большой массы трубопровода по точкам опоры лучшим образом сохраняет заданное направление трубопровода. Допустимое расстояние между опорами определяется рядом условий: 1) диаметром и толщиной стенки трубы, характеризующими несущую способность трубопровода; 2) параметрами и родом теплоносителя; 3) спосо-

бом компенсации температурных удлинений; 4) уклоном трубопровода; 5) способом прокладки тепловых сетей.

Водяные трубопроводы значительно тяжелее паропроводов, поэтому расстояния между опорами на паропроводах несколько больше, чем на водяных линиях. Сальниковые компенсаторы очень чувствительны к перекосам и изгибам труб, устранение которых достигается более частым размещением опор. Уклоны трубопроводов уменьшают вертикальную составляющую нагрузки, тем самым способствуют увеличению допустимого пролета между опорами.

Трубопровод рассматривается как многопролетная неразрезная балка (рис. 8.7), в которой максимальный изгибающий момент над опорой вдвое превышает изгибающий момент в середине пролета:

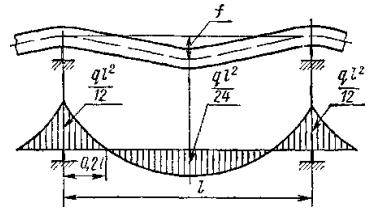


Рис. 8.7. Прогиб трубопровода и эпюра изгибающих моментов многопролетного трубопровода

$$M_0 = q l^2 / 12 = 2M_n, \quad (8.7)$$

где  $M_0$ ,  $M_n$  – изгибающий момент над опорой и в середине пролета, Н·м;  $q$  – полная удельная нагрузка на метр длины трубопровода, Н/м;  $l$  – пролет между опорами, м.

Полная удельная нагрузка определяется из выражения

$$q = \sqrt{q_0^2 + q_z^2}, \quad (8.8)$$

где  $q_0$  – удельная вертикальная нагрузка от массы трубы, теплоносителя, теплоизоляции и снега;  $q_z$  – удельная горизонтальная нагрузка от ветрового давления.

Удельная нагрузка ветрового давления определяется по графикам или по формуле

$$q_z = K \frac{w^2}{2} r d_u, \quad (8.9)$$

где  $K$  – аэродинамический коэффициент (для одиночных труб  $K = 0,7$ , для двух и более труб  $K = 1$ );  $w$  – скорость ветра, м/с;

$\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $d_u$  – диаметр изолированного трубопровода, м.

Снеговая и ветровая нагрузки учитываются только при воздушной прокладке тепловых сетей.

Допустимое расстояние между опорами определяется из условий прочности и допустимой стрелы прогиба трубы на середине пролета для наиболее неблагоприятных режимов работы теплопровода, при которых в самом ослабленном сечении (обычно сварные стыки) напряжения не должны превышать допустимых. Заменяя в выражении (8.7) значение изгибающего момента равенством  $M_0 = [s_u] \cdot W$ , найдем допустимое расстояние между опорами

$$l = \sqrt{\frac{12 \cdot [s_u] \cdot W}{q}}, \quad (8.10)$$

где  $[s_u]$  – допустимое изгибающее напряжение, Па;  $W$  – момент сопротивления трубы, м<sup>3</sup>.

Допустимое напряжение изгиба принимается в зависимости от типа трубы, способа прокладки и компенсации температурных удлинений трубопровода. В непроходных каналах наблюдается перераспределение напряжений трубопровода вследствие неравномерной просадки опор. Из выражения (8.7) следует, что при просадке одной из опор расстояние между точками опирания трубы возрастает вдвое, а изгибающий момент и напряжения – в 4 раза. По этим причинам расстояния между опорами в непроходных каналах принимаются меньшими, чем при других прокладках.

Значение допустимого напряжения изгиба равно:

$$[s_u] = \frac{h_1 s_{дон} j_1}{0,8}, \quad (8.11)$$

где  $h_1$  – коэффициент, учитывающий способ компенсации температурных удлинений трубы;  $s_{дон}$  – допустимое напряжение от внутреннего давления;  $j_1$  – коэффициент прочности сварного шва; 0,8 – коэффициент пластичности трубы.

Значения величин, входящих в выражение (8.11), принимаются по таблицам и графикам; в приближенных расчетах можно принимать  $[s_{II}] \leq 35$  МПа.

Допустимая стрела прогиба, при которой исключается образование воздушных мешков над опорами, отвечает соотношению

$$f = \frac{ql^4}{384JE} \leq 0,02D_y, \quad (8.12)$$

где  $E$  – модуль упругости металла трубы, Па;  $J$  – момент инерции трубы,  $m^4$ .

На поворотах труб расстояния между опорами рекомендуется принимать не более 0,67 от допустимого расстояния на прямом участке трубы, а на участках последней и предпоследней опор до поворота или гибкого компенсатора – не более 0,82.

Подвижные опоры закрепляют на холодном трубопроводе с учетом температурного удлинения трубопровода. Монтажное положение опор любого типа на холодной трубе относительно опорных строительных конструкций (см. рис.8.8) рассчитывают для каждой опоры в отдельности по формуле

$$\Delta X = aL_0\Delta t, \quad (8.13)$$

где  $\Delta X$  – величина смещения опоры после прогрева трубы, мм;  $a$  – коэффициент линейного удлинения металла, мм/м°C;  $L_0$  – расстояние подвижной опоры от неподвижного закрепления трубы, м;  $\Delta t$  – разность температур теплоносителя и окружающей среды.

Таким образом, на холодном трубопроводе подвижные опоры должны приваривать со смещением на величину  $\Delta X$  в сторону к ближайшей неподвижной опоре, т. е. против направления теплового перемещения трубы.

Расстояния между неподвижными опорами определяют расчетом на прочность труб. В справочной литературе рекомендуемые расстояния установлены практикой эксплуатации тепловых сетей с учетом компенсирующих способностей сальниковых компенсаторов и допустимых напряжений гибких компенсаторов.

Неподвижные опоры разделяют трубопровод на участки длиной  $L_I$ ,  $L_{II}$  (рис. 8.8). На каждую неподвижную опору между прилегающими участками слева и справа действуют осевые усилия  $N_A$  и  $N_B$  от трения опор и ре-

акций компенсаторов. Очевидно, если прилегающие участки выполнены из труб одинакового диаметра и на этих участках трубы опираются на равное число опор, то при  $L_I=L_{II}$  равнодействующая осевых усилий будет минимальна или даже равняться нулю, так как  $N_A = N_B$ .

Неподвижные опоры в таком случае называются разгруженными. Таким образом, размещение неподвижных опор на равных расстояниях друг от друга позволяет уменьшить нагрузку, передаваемую на строительные конструкции.

Неподвижные опоры устанавливают 1) на ответвлениях трубопроводов, в точках размещения запорной арматуры, сальниковых компенсаторов. На трубопроводах с П-образными компенсаторами неподвижные опоры необходимо размещать на середине участка между компенсаторами. Максимальная несимметричность расположения П-образного компенсатора в пролете длиной  $L$  допускается не более  $0,6 L$ . В бесканальных прокладках, когда не используется естественная компенсация трубопровода, неподвижные опоры рекомендуется устанавливать на поворотах трасс.

На расстоянии  $0,2l$  от опоры (см. рис. 8.7) изгибающий момент равен нулю. В связи с этим сварные стыки, имеющие пониженную прочность, целесообразно размещать вблизи этих точек.

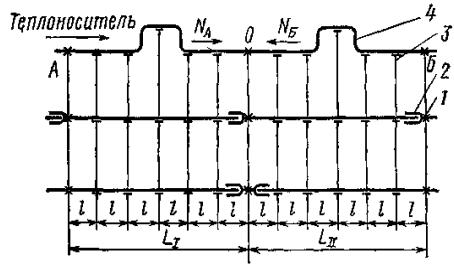


Рис. 8.8. Размещение опор на трубопроводе:

1 – неподвижная опора; 2 – сальниковый компенсатор; 3 – подвижная опора; 4 – П-образный компенсатор

## 8.4 Компенсаторы

Неподвижное закрепление трубопроводов производят для предупреждения самопроизвольного его смещения при удлинении.

Но при отсутствии устройств, воспринимающих удлинения трубопроводов между неподвижными закреплениями, возникают большие напряжения, способные деформировать и разрушать трубы. Компенсация удлинений труб производится различными устройствами (рис. 8.9), принцип действия которых можно разделить на две группы:



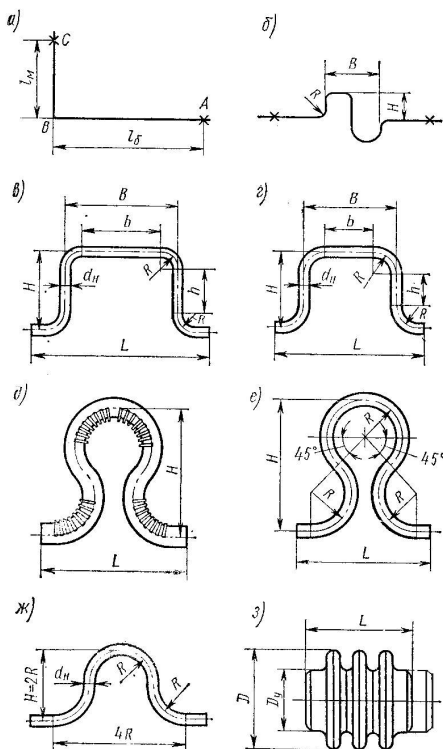


Рис. 8.9 Типы компенсирующих устройств:

а – естественная компенсация; б – S-образный компенсатор; в – П-образный компенсатор с большой спинкой, г – то же, равносторонний ( $b = h$ ); д – лирообразный компенсатор со складками; е – то же, гладкозагнутый, ж –  $\omega$ -образный; з – линзовый компенсатор

1) радиальные или гибкие устройства, воспринимающие удлинения теплопроводов изгибом (плоских) или кручением (пространственных) криволинейных участков труб или изгибом специальных эластичных вставок различной формы; 2) осевые устройства скользящего и упругого типов, в которых удлинения воспринимаются телескопическим перемещением труб или сжатием пружинящих вставок. Гибкие компенсирующие устройства самые распространенные. Наиболее простая компенсация достигается естественной гибкостью поворотов самого трубопровода, изогнутого под углом не более  $150^\circ$ . При естественной компенсации трубопроводов в каналах необходимо обеспечить между стенками канала и наружной поверхностью изолированного трубопровода зазор, достаточный для свободного удлинения

плеч трубы. В бесканальных прокладках для использования естественной компенсации на участках поворотов должны быть сооружены непроходные каналы соответствующих поперечных размеров. Для естественной компенсации могут быть использованы подъемы и опуски труб, но естественная компенсация не всегда может быть предусмотрена. К устройству искусственных компенсаторов следует обращаться лишь после использо-

вания всех возможностей естественной компенсации. На прямолинейных участках компенсация удлинений труб решается специальными гибкими компенсаторами различной конфигурации. Лирообразные компенсаторы, особенно со складками, из всех гибких компенсаторов обладают наибольшей эластичностью, но вследствие усиленной коррозии металла в складках и повышенного гидравлического сопротивления применяются редко.

Более распространены П-образные компенсаторы со сварными и гладкими коленами; П-образные компенсаторы со складками, как и лирообразные, по указанным выше причинам применяются реже. Достоинством гибких компенсаторов является то, что они не нуждаются в обслуживании и для их укладки в нишах не требуется сооружение камер. Кроме того, гибкие компенсаторы передают на неподвижные опоры только реакции распоров. К недостаткам гибких компенсаторов относятся: повышенное гидравлическое сопротивление, увеличенный расход труб, большие габариты, затрудняющие их применение в городских прокладках при насыщенности трассы городскими подземными коммуникациями. Линзовые компенсаторы относятся к осевым компенсаторам упругого типа. Компенсатор собирается на сварке из полулинз, изготовленных штамповкой из тонколистовых высокопрочных сталей. Компенсирующая способность одной полулинзы составляет 5 – 6 мм. В конструкции компенсатора допускается объединять 3 – 4 линзы, большее число нежелательно из-за потери упругости и выпучивания линз. Каждая линза допускает угловое перемещение труб до 2 – 3°, поэтому линзовые компенсаторы можно использовать при прокладке сетей на подвесных опорах, создающих большие перекосы труб. Отечественной промышленностью линзовые компенсаторы выпускаются на давление  $P_y \leq 1,6$  МПа. Наиболее совершенной разновидностью линзовых компенсаторов являются универсальные волнистые компенсаторы шарнирного типа, выпускаемые на  $P_y \leq 2,5$  МПа при температуре теплоносителя до 450°C. Эти компенсаторы, установленные на S- и Z-образных участках трубопроводов, позволяют значительно увеличить компенсирующую способность изломанного участка.

Осевая компенсация скользящего типа создается сальниковыми компенсаторами стальной сварной конструкции, показанной на рис. 8.10. Типовые сальниковые компенсаторы изготавливают из стандартных труб. Компенсатор состоит из корпуса, стакана и уплотнительных приспособлений. При удлинении трубопровода стакан вдвигается в полость корпуса.

Герметичность скользящего соединения корпуса и стакана создается сальниковой набивкой, которая готовится из плетеного в квадратное

или круглое сечение прографиченного асбестового шнура, пропитанного цилиндрическим маслом. Скосы кромок на буксах способствуют более плотному прижатию набивки к поверхности стакана. Набивка со временем истирается и теряет упругость. Для восстановления плотности конструкции производят подтяжку сальника. Многократные подтяжки значительно увеличивают силы трения в сальнике, в результате частично или полностью утрачивается компенсирующая способность. Лучшие результаты дает периодическая замена сальниковой набивки.

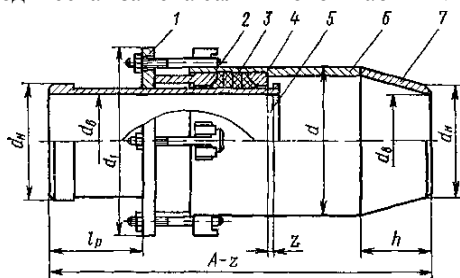


Рис. 8.10 Бесфланцевый односторонний сварной сальниковый компенсатор:  
 1 – нажимной фланец; 2 – грундбукса; 3 – сальниковая набивка; 4 – контрбукса; 5 – стакан; 6 – корпус; 7 – переход диаметров

Перекосы осей корпуса и стакана приводят к заеданию и заклиниванию компенсатора, поэтому при монтаже требуется соблюдать высокую точность соосной укладки труб на подходах со стороны подвижного стакана. Для этого на двух пролетах, примыкающих к стакану, допустимое расстояние между подвижными опорами рекомендуется уменьшать в 2 раза.

Сальники требуют постоянного надзора, для их обслуживания необходимо сооружение камер больших размеров. Для уменьшения числа дорогостоящих камер применяют сальниковые компенсаторы двустороннего действия. Компенсаторы устанавливают на водяных и паровых сетях при условном давлении до 2,5 МПа. На трубопроводах малого диаметра (до 100 – 150 мм), обладающих большой гибкостью, компенсаторы работают плохо, часто дают течи.

Компенсация температурных удлинителей трубопроводов назначается при средней температуре теплоносителя более +50°C. Тепловые перемещения теплопроводов обусловлены линейным удлинением труб при нагревании. Тепловое удлинение трубопровода (в мм) между опорами рассчитывают по формуле

$$\Delta l_1 = \alpha L(t - t_0), \quad (8.14)$$

где  $L$  – длина трубопровода между неподвижными опорами, м;

$t$  – температура теплоносителя, °С;  $t_0$  – температура окружающей среды, °С.

Коэффициент линейного удлинения  $\alpha$  стальных труб принимается в зависимости от температуры; в среднем он равен 0,012 мм/м°С.

Для безаварийной работы тепловых сетей необходимо, чтобы компенсирующие устройства были рассчитаны на максимальные удлинения трубопроводов. Исходя из этого при расчете удлинений температура теплоносителя принимается максимальной, а температура окружающей среды – минимальной и равной: 1) расчетной температуре наружного воздуха при проектировании отопления – для надземной прокладки сетей на открытом воздухе; 2) расчетной температуре воздуха в канале – для канальной прокладки сетей; 3) температуре грунта на глубине заложения бесканальных теплопроводов при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления.