

6. Трубопроводы

Протяженность и, следовательно, металлоемкость трубопроводов на предприятиях велики. Поэтому монтаж их довольно трудоемок, а поддержание трубопроводов в исправном состоянии требует привлечение большого числа ремонтных рабочих. Стоимость монтажа технологических трубопроводов составляет 45 % от общей стоимости монтажных работ.

Назначение трубопроводов различно, оно определяется их наименованием и особенностями конструктивного оформления. Трубопроводы связывают оборудование технологических установок в единую систему (внутриустановочные или технологические обвязочные трубопроводы), а также обеспечивают связь между отдельными установками и цехами завода (межцеховые и общезаводские трубопроводы).

Трубопроводы большой протяженности для транспортирования сырья, полуфабрикатов и готовой продукции принято называть магистралями. Трубопроводы можно охарактеризовать условным диаметром D_u (номинальный внутренний диаметр трубопровода), $D_u = 100$ мм и т.д. и условным давлением P_u (наименьшее рабочее давление при температуре 20 °С). Так как с повышением температуры прочностные свойства материала труб снижаются, соответственно должно уменьшаться наибольшее допустимое рабочее давление.

В основном трубопроводы изготавливаются из углеродистых или легированных сталей. Кроме того, находят применение медные, латунные, обладающие хорошей коррозионной стойкостью и высокой теплопроводностью стенок, а также алюминиевые и свинцовые трубы, имеющие высокую коррозионную стойкость к отдельным группам веществ.

Неметаллические трубопроводы менее прочны, чем металлические, однако в большинстве случаев коррозионная стойкость их выше, а стоимость невелика. К неметаллическим относятся: керамические, фарфоровые, стеклянные, резиновые и пластмассовые трубы (из винилпласта, полиэтилена, феолаита, фторопласта). Находят применение также трубы из металла, футерованы пластмассой или резиной.

Трубы из углеродистых и легированных сталей могут быть сварными и бесшовными. Из стальных труб главным образом применяют бесшовные трубы (горячекатаные и электросварные). Эти трубы гуммируют и футеруют полиэтиленом и винилпластом.

Потребность в трубах из нержавеющей стали с каждым годом возрастает в связи с требованиями технологии производства, простоты их монтажа и обслуживания, а также по технико-экономическим соображениям.

Пластмассовые трубы отличаются высокой коррозионной стойкостью. Но проведение монтажных и ремонтных работ при их применении усложнено.

6.1. Детали трубопроводов соединение труб

Для соединения отдельных участков трубопроводов применяются различные детали: фланцы, муфты, переходы, отводы, тройники, заглушки, сгоны и т.д. Материал этих деталей должен соответствовать материалу труб. Соединение отдельных участков труб чаще всего осуществляются следующими способами: фланцевое соединение, резьбовое соединение, сварное соединение.

Сварное соединение применяется для трубопроводов высокого давления,

фланцы при этом используются только для установки арматуры. Для токсичных, взрывоопасных, легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, также рекомендуются сварные соединения труб. Сварное соединение наиболее надежно, практически полностью исключает возможность утечки продуктов, однако, является неразборным, что создает трудности в эксплуатации.

Фланцевое соединение – разъемное – более дорогое и менее надежное в эксплуатации, чем сварное.

Вследствие простоты конструкции оно наиболее распространено. Для коммуникации высокого давления применяются специальные фланцы, наворачиваемые на трубопровод, а соединение труб производится через гильзу (рис.6.1).

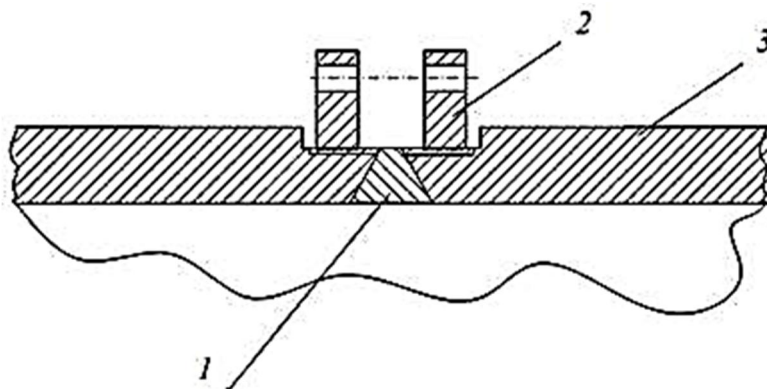


Рис.6.1. Схема соединения трубопроводов высокого давления:
1 – линза; 2 – фланец; 3 – труба

Резьбовое соединение применяется в основном при соединении газовых труб. Оно наименее надежно, но компактнее фланцевого. Оно применяется для труб небольшого диаметра ($d_n < 0,05 \div 0,075$ м). Для того, чтобы исключить утечку среды, на трубу наматывается волокнистый материал (льняная пряжа, иногда с промазкой свинцовым суриком и свинцовыми белилами). Резьбовое соединение осуществляется с помощью муфт (рис.6.2).

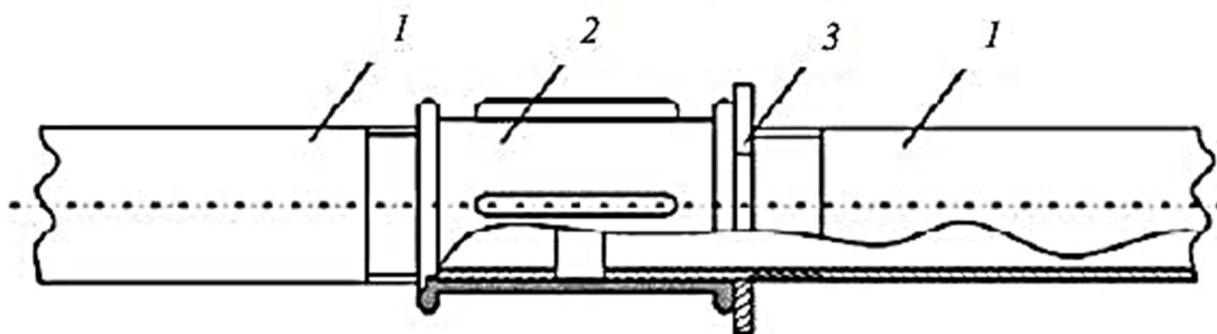


Рис.6.2. Схема резьбового соединения:
1 – соединительные трубы; 2 – муфта; 3 – контргайка

Чугунные трубы соединяются с помощью раструбов. Кольцевое пространство в раструбном соединении заделывается пенькой или с помощью специального цемента зачеканивается (рис.6.3).

Керамические, пластмассовые, стеклянные трубы соединяются специальными способами.

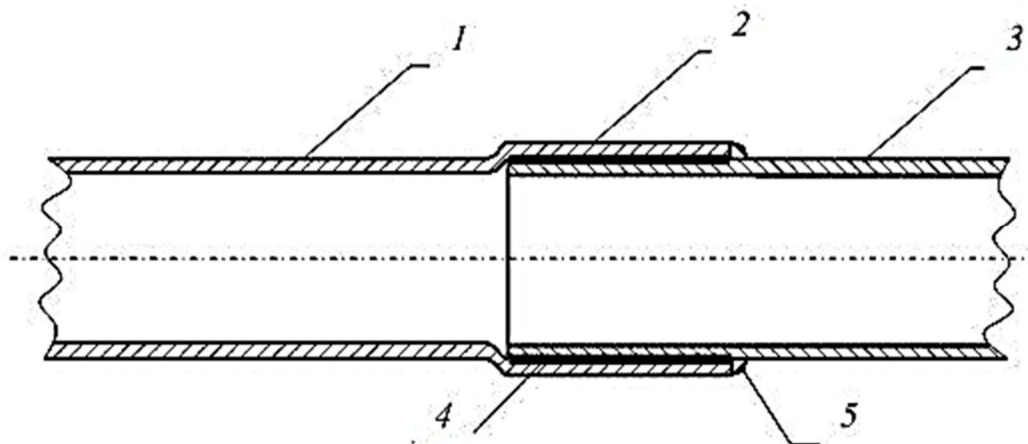


Рис.6.3. Схема соединения чугунных труб:

1 – труба; 2 – раструб; 3 – труба; 4 – набивка из пеньки; 5 – замазка и цемент

6.2. Требования при проектировании монтажа трубопровода

Способы монтажа и ремонта трубопроводов обусловлены материалом из которого изготовлены трубопроводы, а также их размером и пространственным расположением.

Все трубопроводы сооружаются в полном соответствии с утвержденными проектами и рабочими чертежами. В зависимости от конкретных условий (свойств и состояния транспортируемой среды, диаметра труб, ситуации на монтируемом участке) трубопроводы прокладывают в грунте, в открытых и закрытых лотках, в каналах или на опорах и эстакадах.

Технологические трубопроводы, требующие постоянного ухода, частых ремонтов в стесненных условиях, как правило, прокладывают только на опорах. При расположении на эстакадах множество трубопроводов различного назначения в несколько ярусов стараются трубопроводы с ядовитыми, высокоагрессивными и огневзрывоопасными средами располагать в самом нижнем ярусе. Это облегчает ремонт и при авариях предотвращает возможную утечку продукта на другие трубопроводы.

Паропроводы, трубопроводы для конденсата и теплоагентов прокладывают на стойках и эстакадах, а также в надежно канализованных открытых лотках.

Чтобы обеспечить надежность осмотра и производства ремонтных работ при прокладке пучка трубопроводов (рис.6.4), необходимо соблюдать межосевые расстояния соседних трубопроводов, а также расстояния соседних трубопроводов от соседствующих конструкций (элементов опор, стен зданий, постаментов, аппаратов и т.д.).

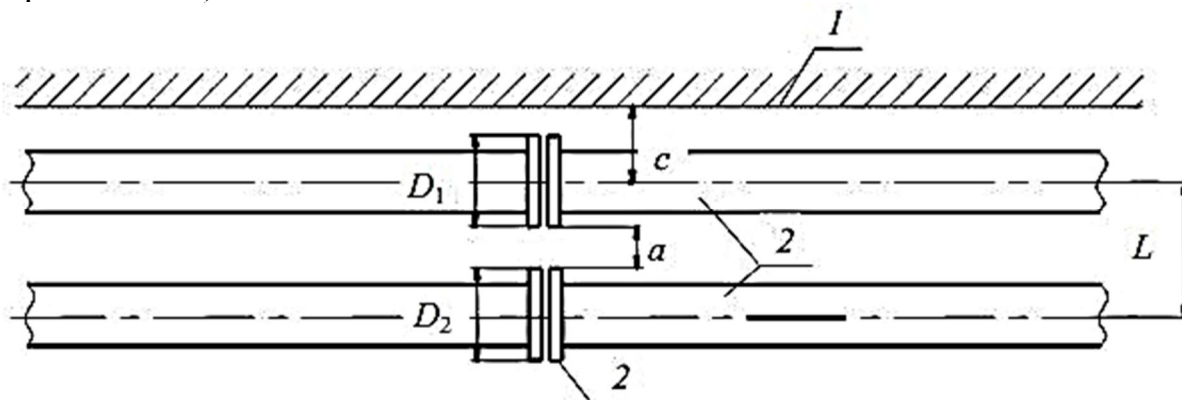


Рис.6.4. Схема расположения трубопровода:

1 – конструктивный элемент; 2 – труба; 3 – фланцы

Расстояние L между осями соседних изолированных трубопроводов с фланцами, расположенными в одной плоскости, можно определить по формуле

$$L = (D_1 + D_2) / 2 + a, \quad (6.1)$$

где D_1 и D_2 – наружные диаметры фланцев соседних труб; a – расстояние между этими фланцами для труб диаметром до 200 мм: $a = 80 - 100$ мм; для труб диаметром до 250 – 700 мм: $a = 105 - 150$ мм.

Расстояние c от оси крайнего трубопровода до соседнего конструктивного элемента определяется, как

$$c = D_1 / 2 + a, \quad (6.2)$$

Большинство работающих трубопроводов подвержено действию статического электричества, поэтому их необходимо заземлить согласно действующим правилам.

Прокладываемые трубопроводы не должны закрывать необходимые для нормального обслуживания цеха (установки), проходы и проезды, в том числе грузоподъемные устройства. Эстакады или нижняя труба надземного трубопровода должны быть подняты над землей на высоту не менее:

- а) над железнодорожными путями – 5,5 м;
- б) над автотранспортом – 4,5 м;
- в) над пешеходными проходами – 2,2 м.

Причем над перечисленными участками прокладывают трубопроводы только из сварных труб, т.е. без фланцев, арматуры, компенсаторов и других устройств.

Под трубопроводами сильно токсичных продуктов на участке дороги устанавливается поддон с уклоном в сторону безопасного слива.

Трубопроводы (особенно подземные) должны быть защищены от действия поперечных сил, способных их смять, поэтому под дорогами и переездами их укладывают в туннелях или заключают в гильзы, представляющие собой трубы несколько большего диаметра и большей толщины, чем защищаемые. Гильзы также устанавливают на участках, где труба пересекает стены и перекрытия. Это позволяет трубам воспринимать температурные деформации независимо от строительных конструкций. Гильзы заделывают намертво. При компоновке деталей трубопровода необходимо избежать попадания сварного шва на участке гильзы.

Подземные трубопроводы в обычных грунтах прокладывают на глубине не менее 0,5 м от поверхности земли; для замерзающих грунтов глубина залегания трубопровода должна быть на 0,1 м ниже глубины промерзания грунта.

На участке пересечения железнодорожных и транспортных путей глубину заложения труб с гильзами принимают не менее 1 м от подошвы шпалы. На участках автодорог эта глубина должна быть не менее 0,8 м от зеркала дорожного полотна.

Не рекомендуется прокладывать трубопроводы на стенках производственных зданий. В исключительных случаях можно проложить трубопровод небольших размеров на скользящих опорах, прикрепленных к стенкам, однако при этом они не должны пересекать оконных и дверных проемов. При прокладке вдоль наружных стен зданий трубопроводы размещают не менее

чем на 0,5 м выше (или ниже) оконных проемов.

Нельзя прокладывать трубопровод под зданиями, фундаментами оборудования и другими сооружениями. Подземные трубопроводы должны надежно защищаться от разрушения коррозией. Технологические трубопроводы должны иметь некоторый уклон с тем, чтобы при отключении можно было опорожнить их.

6.3. Конструкции компенсаторов

Трубопровод малой длины и легко выпучивающийся во время нагревания удлиняется; при умеренном переходе температур это удлинение может компенсироваться удлинением в изгибах или за счет выпучивания трубопровода. Такой процесс называется самокомпенсацией. При наличии трубопровода, не допускающего жесткого закрепления, его приходится укладывать на подвижные опоры и вводить в конструкцию трубопровода компенсатора линзовые, сальниковые односторонние и двусторонние, лирообразные и лирообразные гладкие с прямым участком (рис.6.5).

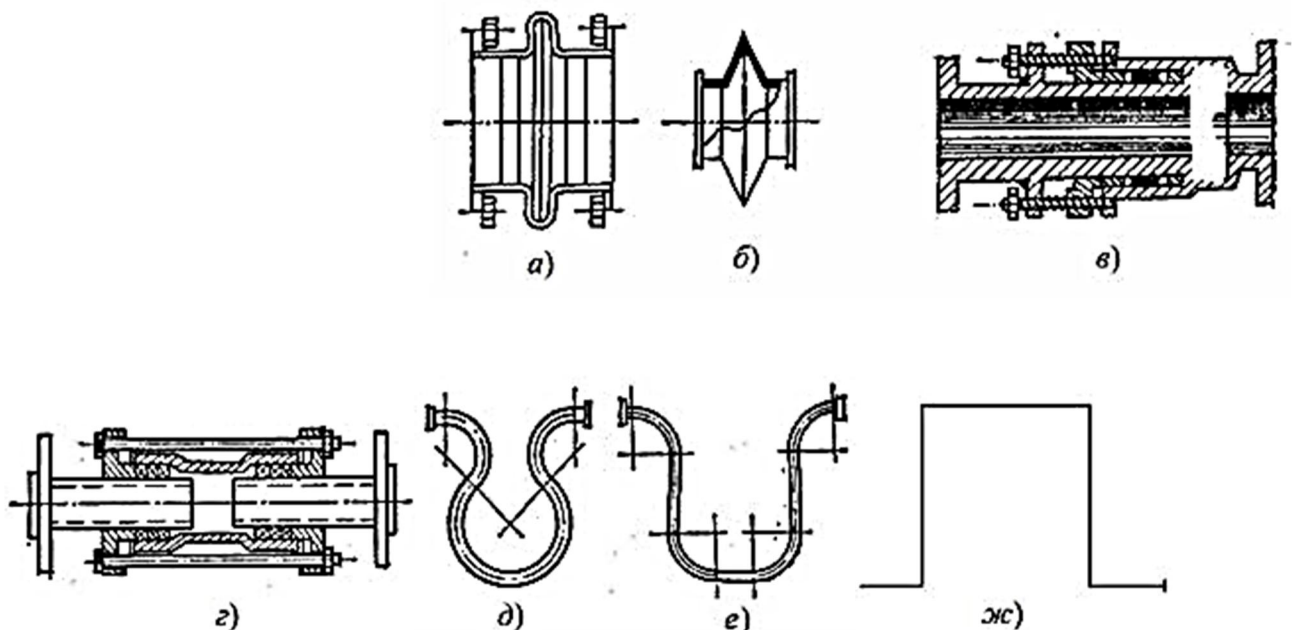


Рис.6.5. Схема компенсаторов на трубопроводах:

а – линзовый сварной; б – тарельчатый сварной; в – сальниковый односторонний;

г – сальниковый двусторонний; д – лирообразный; е – лирообразный с прямым участком; ж – П-образный

Компенсирующая способность в большей мере зависит от H , чем от z . Значение H/z характеризует относительную величину вылета и составляет $1,5 \div 10$. Таким образом П-образные компенсаторы могут разделены на компенсаторы с большим, средним и малым вылетом. На компенсирующую способность оказывает также влияние радиусгиба компенсатора R . Чем меньше R , тем лучше компенсатор гнется обычно $R = 4dn$.

6.4 Расчет трубопровода

6.4.1 Тепловое удлинение трубопроводов и их компенсация

При монтаже необходимо учитывать изменение длины трубопроводов при

колебаниях температуры. Величина этого изменения может быть определена по формуле

$$\Delta l_t = \alpha (t_T - t_B) l = \alpha \Delta t - l, \quad (6.3)$$

где α – коэффициент линейного расширения материала трубы, $1/^\circ\text{C}$; t – изменение температуры трубопровода, $^\circ\text{C}$; l – первоначальная длина трубопровода, м.

Удлинение трубопровода вызывает появление напряжений сжатия

$$\sigma = \delta E, \quad (6.4)$$

где $\delta = \Delta l/l$ – относительное удлинение; E – модуль упругости, Н/мм.

При площади поперечного сечения стенок трубы F сила сжатия $P_{сж}$ будет равна

$$P_{сж} = \sigma F. \quad (6.5)$$

При совместном решении уравнений (20.1) и (20.2) получаем перепад температур, выше которого необходима компенсация температурных удлинений

$$\Delta t = \sigma / E \alpha. \quad (6.6)$$

6.4.2. Гидравлический расчет трубопровода

Рассмотрим расчет диаметра трубопровода при передаче жидкости или газа по цилиндрическому трубопроводу. Скорость движения жидкости зависит от величины напора, вязкости жидкости, материала и конструкции трубопровода.

Практически в трубопроводах с газами и технологическими растворами, вязкость которых близка к вязкости воды, принимают следующие скорости, м/с

1. Самоотечные трубопроводы до 1,25.
2. Напорные трубопроводы 1 – 3.
3. Газопроводы для газов, насыщенными парами 10 – 30.
4. Газопроводы для сухих газов (сжатого воздуха, азота, разреженного воздуха и перегретых паров) 10 – 60.

Секундный расход, т.е. количество V_c протекающей жидкости или газа по цилиндрическому трубопроводу, м³/с, определяют по формуле

$$V_c = F \omega = \frac{\pi d^2}{4} \omega, \quad (6.7)$$

где F – площадь сечения трубы, м²; d – диаметр трубопровода, м; ω – скорость среды, м/с.

Часовой расход

$$V_q = 3600 \frac{\pi d^2}{4} \omega. \quad (6.8)$$

Из уравнения (6.8) можно определить диаметр трубопровода d , м

$$d = \sqrt{\frac{V_q}{3600 \cdot 0,785 \omega}} \quad (6.9)$$

6.4.3. Расчет металлических труб на прочность

Толщина стенки стальной трубы, испытывающей внутреннее давление, может быть определена по формулам, рекомендованным Госгортехнадзором.

Для бесшовных труб толщина стенки S равна

$$S = \frac{P_y D_y}{230 \sigma_{200} + P_y} (1 + A), \quad (6.10)$$

где P_y – условное давление (соответствующее рабочему давлению при температуре среды 200 °С) кгс/см²; D_y – наружный диаметр трубы, мм; σ_{200} – допустимое напряжение при температуре среды до 200 °С, кгс/мм²; A – коэффициент, учитывающий необходимую прибавку на допустимые минусовые отклонения толщины стенки по ГОСТу, а также уменьшения толщины при изгибе (обычно A принимается равным 0,2)

Для сварных труб толщина стенки S равна

$$S = \frac{P_y D_y}{230 \phi \sigma_{200} + P_y} + C, \quad (6.11)$$

где ϕ – коэффициент для сварных труб равен 0,8, для сварных труб со спиральным 0,6; C – величина, учитывающая возможное минусовое отклонение толщины листа (принимается от 0,5 до 0,8); σ_{200} – при температуре 200 °С для Ст3 – 11,7, для сталей других марок от 10,9 до 13,3.

Если трубопровод предназначен для транспортировки агрессивных сред, толщину стенок труб следует увеличивать в зависимости от диаметра трубопровода (от 2 до 4 мм).

6.4.4. Конструкции опор для трубопровода и их расчет

Существует несколько видов опор:

- 1) подвижные опоры (рис.6.6);
- 2) неподвижные опоры (рис.6.7);
- 3) кронштейн (рис.6.8);
- 4) подвески (рис.6.9).

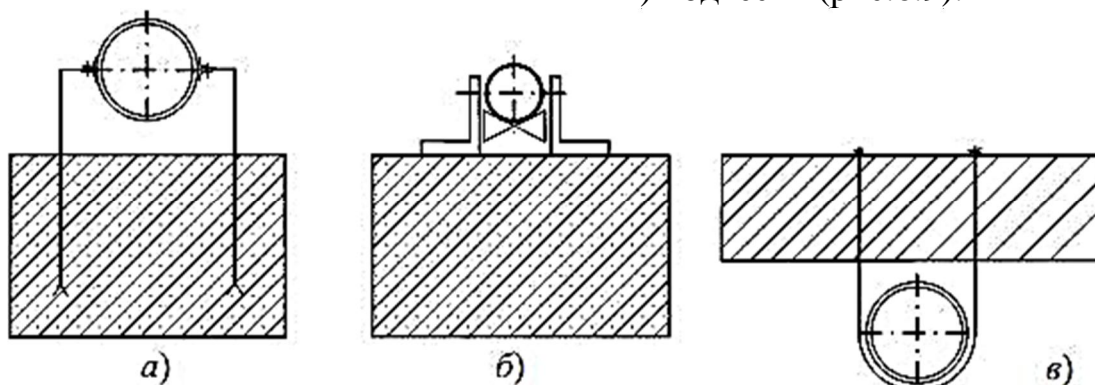


Рис.6.6. Схема подвижных опор трубопровода:

а – скользящая; б – катковая; в – в зданиях под перекрытием до 200 мм

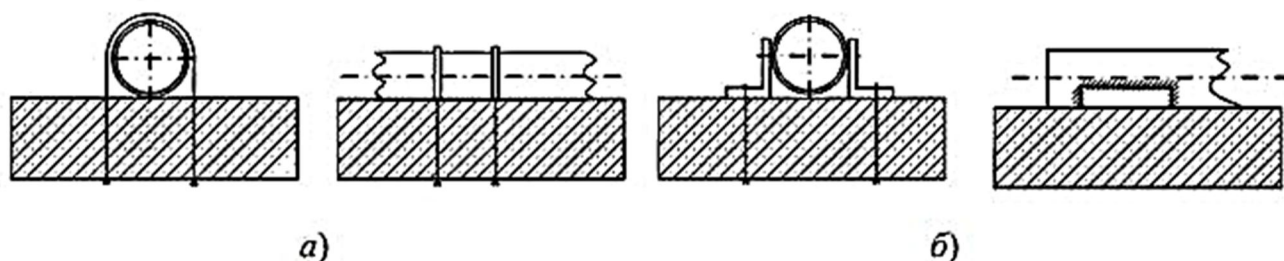


Рис.6.7. Схема неподвижных опор: а – хомутовые; б – приваренная

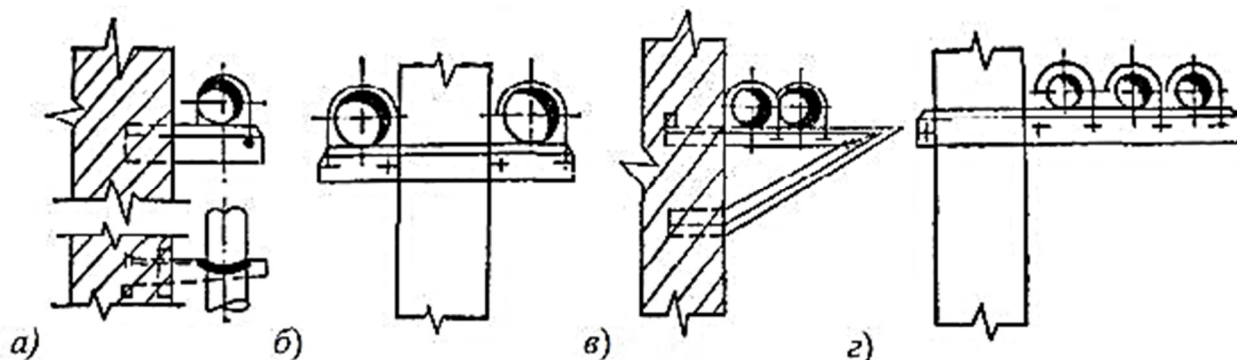


Рис.6.8. Схема крепления труб при помощи кронштейнов: а, в – крепление к стенке; б, г – крепление к колонне

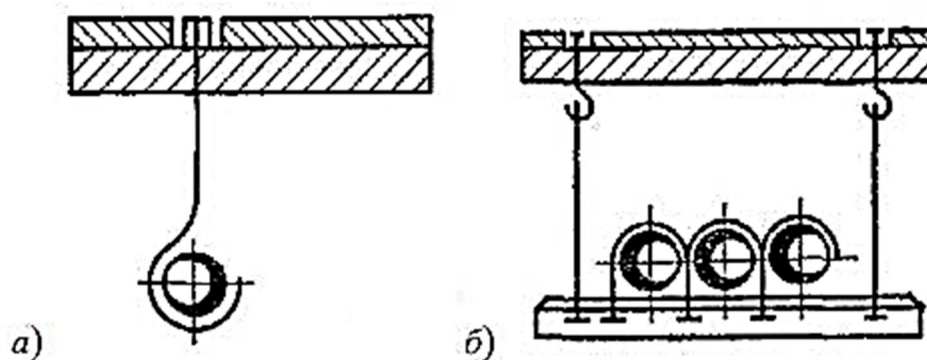


Рис.6.9. Схема крепления трубопровода на подвесках: а – на одной тяге; б – на двух тягах

Расчет опор сводится к следующей методике. Длина пролета между опорами трубопровода l , м, определяется в зависимости от допустимого прогиба многоопорной балки по формуле

$$l = \sqrt{\frac{12\sigma_{и}\omega}{100q}}, \quad (6.12)$$

где $\sigma_{и}$ – допустимое напряжение на изгиб, кгс/см² (для стальных труб $\sigma_{и} = 250$ кгс/см²); ω – момент сопротивления, см³; q – вес 1 м трубопровода, наполненного раствором и покрытого изоляцией.

Расчетная нагрузка на одну опору $Q_{\text{верт}}$ определяется по формуле

$$Q_{\text{верт}} = 15ql. \quad (6.13)$$

Расстояние между подвижными опорами зависит от внутреннего диаметра

трубы (табл.6.1).

Таблица 6.1. Расстояние между опорами

Внутренний диаметр трубы, мм	50	76	100	125	150	200	250	300
Расстояния между опорами, м	3	4	4,5	5	6	7	8	9

6.5. Испытания трубопровода

Трубопроводы испытывают на плотность и прочность. Все стыки трубопровода должны быть доступны для визуального осмотра. Сварные швы полностью и выборочно подвергаются физическим методам контроля (с помощью рентгеновских и гамма-лучей, магнитографированием, ультразвуком).

Трубопроводы опрессовывают водой. Испытуемый участок трубопровода отключают заглушками, в верхней его части приваривают штуцер с вентилем (задвижкой) для выпуска воздуха при нагнетании воды. Испытательное давление указывается в технических условиях проекта и обычно составляет 1,25 – 1,5 рабочего давления. При испытательном давлении трубопровод выдерживают в течение 5 мин, затем снижают давление до рабочего и приступают к осмотру. Результат испытания считается положительным, если за время испытания давление в трубопроводе не снижается, и сварные швы не пропускают воду.

Если испытание производится сжатым воздухом, неплотности обнаруживаются по появлению пузырьков мыльной эмульсии, нанесенной на швы.

Порядок сдачи трубопровода в эксплуатацию определяется категорией трубопровода, т.е. его назначением.

Правила ГОСгортехнадзора предусматривают регистрацию трубопровода 1-ой, 2-ой, 3-ей категорией в инспекции ГОСгортехнадзора по установленной форме.

После испытания приемка и сдача трубопровода должна осуществляться и оформляться двусторонним актом. При сдаче технологических трубопроводов в эксплуатацию, монтажная организация обязана представить техническую документацию: акты проверки внутренней очистки трубопроводов, испытаний арматуры, испытаний трубопроводов, промывки и продувки трубопроводов; заключение по проверке качества сварных швов трубопровода.

Все трубопроводы, за исключением стеклянных, керамических и фарфоровых, по окончании монтажа и испытания окрашивают масляной или другой стойкой краской. Трубопроводы, покрытые изоляцией, могут окрашиваться клеевой краской.

Цель окраски заключается не только в защите труб от атмосферной коррозии и в придании им опрятного вида. Цвет трубопровода зависит от того, для транспортировки каких сред он предназначен (окраска регламентирована инструкциями).

Отличительные знаки и цвета окраски, приводимые в правилах безопасности для взрывоопасных химических производств, указаны ниже.

Азот – Черный с коричневыми полосами

Аммиак – Желтый

Вакуум – Белый с желтыми полосами
Вода горячая – Зеленый с красными полосами
Вода обратная (условно-чистая) – Зеленый с коричневыми полосами
Вода питьевая (хозяйственная) – Зеленый без полос
Вода производственная – Черный без полос
Воздух сжатый – Синий
Канализация – Черный с желтыми полосами
Кислоты крепкие – Красный с белыми полосами
Кислоты разбавленные – Красный с двумя белыми полосами
Конденсат водяного пара – Зеленый с синими полосами
Пар насыщенный – Красный с желтыми полосами
Пожарный водопровод – Оранжевый без полос
Рассол прямой – Темно-коричневый с черными полосами
Рассол обратный – Темно-красный с желтыми полосами
Щелочи крепкие – Вишневый без полос
Щелочи разбавленные – Вишневый с белыми полосами