

Водопропускные трубы под насыпями автомобильных дорог

22.1. Оголовки и фундаменты водопропускных труб

Оголовки водопропускных труб обеспечивают сопряжение тела трубы с насыпью, создают благоприятные условия протекания по ним воды, а также предотвращают продольные деформации труб от воздействия горизонтального давления насыпи. Применяют порталные, раструбные, воротниковые и обтекаемые оголовки (рис. 22.1).

Наибольшее применение получили порталные и раструбные оголовки. Портальные оголовки (рис. 22.1, а) более просты в изготовлении, но их конструкция не обеспечивает плавного входа в трубу и протекания по ней воды, поэтому их применяют для труб с отверстием 0,5... 0,75 м при малых расходах и небольших скоростях течения.

Раструбные оголовки (рис. 22.1, б), состоящие из порталной стенки и двух откосов постоянной или переменной высоты, развернутых в плане относительно оси трубы под углом 18... 25°, обеспечивают наиболее плавное протекание воды и широко применяются как в безнапорных, так и в напорных трубах. Для обеспечения более полного использования поперечного сечения трубы при пропуске водного потока у входного оголовка иногда первые звенья труб устраивают с переменной высотой сечения.

У воротниковых оголовков (рис. 22.1, в) крайние звенья труб срезают наклонно в соответствии с углом заложения откоса насыпи и окаймляют поясом-воротником. Внешний вид трубы с таким оголовком привлекателен, но из-за неблагоприятных условий вхождения воды в трубу такие оголовки применяют только при малых расходах воды.

Обтекаемые оголовки (рис. 22.1, г) имеют переменную высоту сечения в виде усеченного конуса (в круглых трубах) или пирамиды (в прямоугольных трубах), что обеспечивает благоприятные условия протекания воды.

Русло водотока у входных и выходных оголовков, а также откосы насыпи около трубы являются ответственными конструктивными элементами. При сооружении водопропускных труб их укрепляют от возможного размыва различными способами: каменной наброской, железобетонными плитами, монолитным бе-

тоном или габионами. Тип укрепления выбирается с учетом скорости протекания воды, а также на основе технико-экономического анализа.

Для равномерной передачи давления на грунт и противодействия сдвигу элементы трубы опирают на фундамент или естественное надежное основание в зависимости от инженерно-геологических условий, высоты насыпи и величины отверстия трубы. В бесфундаментных трубах звенья опирают на естественное грунтовое основание (рис. 22.2, а) либо на специальную грунтовую подушку из щебеночно-песчаной или гравийно-песчаной смеси (рис. 22.2, б). Такие трубы применяют при крупнообломочных и плотных песчаных грунтах, а также при прочных глинистых грунтах с величиной условного сопротивления более 250 кПа. Типовые конструкции бесфундаментных труб малых диаметров 0,5... 0,75 м укладывают при насыпях высотой от 0,9... 3,5 м, а диаметр 1,0 м устраивают в насыпях до 7 м.

Если грунты основания имеют условное расчетное сопротивление от 100 кПа до 150 кПа, то звенья труб рекомендуется непосредственно опирать на жесткие фундаменты из сборных железобетонных элементов или из монолитного бетона (рис. 22.2, в, г).

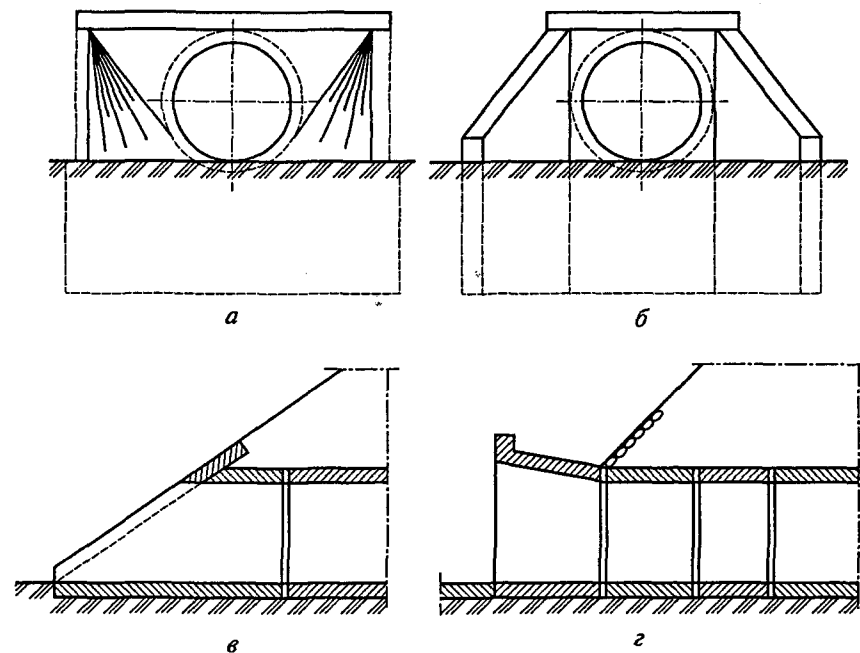


Рис. 22.1. Типы оголовков водопропускных труб:

а — порталный; б — раструбный; в — воротниковый; г — обтекаемый

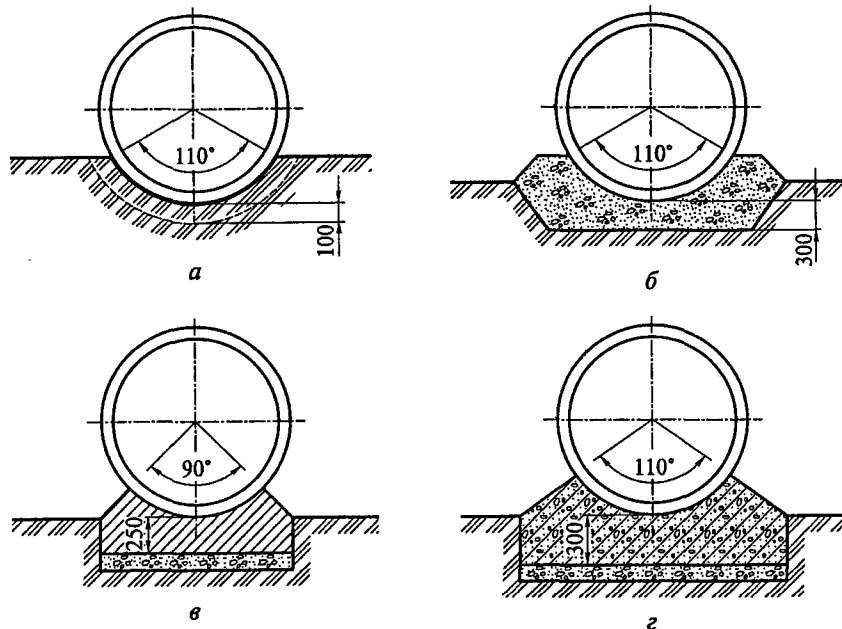


Рис. 22.2. Типы фундаментов труб:

а — естественное грунтовое основание; *б* — искусственная грунтовая подушка; *в* — фундамент из сборных железобетонных элементов; *г* — фундамент из монолитного бетона

При слабых или неустойчивых грунтах (болотистых, пластичных глинистых, вечномёрзлых), для которых величина условного сопротивления не превышает 100 кПа, часто применяют свайные фундаменты.

22.2. Конструкции каменных, бетонных и железобетонных труб

Каменные и бетонные трубы в прошлом выполняли из массивных боковых стенок со сводами. Их пролеты достигали 4... 5 м. По статической схеме своды, как правило, выполняют бесшарнирными, реже двух- и трехшарнирными. Очертание сводов обычно принимают по круговой кривой со стрелой подъема $f = (\frac{1}{2} \dots \frac{1}{3})l$.

Стены труб могут иметь отдельный или общий фундамент, что зависит от геологических условий. При слабых грунтах целесообразно устраивать общий фундамент, что снижает величину давления по его подошве. Иногда для улучшения работы общего фун-

дамента устраивают обратный свод, который одновременно является лотком для протекания воды.

Для всех элементов каменных труб применяют бутовый камень с условным сопротивлением не менее 40 МПа. Для кладки используют цементный раствор прочностью не ниже 10 МПа. Каменные трубы являются надежными, долговечными сооружениями с малыми эксплуатационными расходами, но не удовлетворяют современным требованиям индустриального строительства.

На дорогах низких технических категорий иногда применяют круглые бетонные трубы из звеньев с плоской подошвой. Звенья таких труб имеют отверстия диаметром 1 и 1,25 м с толщиной стенок 14... 18 см и длиной 1 м. В подошвенной части звена применяют сварную сетку из арматуры диаметром 10 мм класса А-II. Разработано два варианта звеньев из бетона: класса В30 и В40. Эта конструкция требует значительного расхода бетона сравнительно высоких классов. Такие трубы можно укладывать под насыпь высотой до 7 м.

В настоящее время на автомобильных дорогах нашли широкое применение сборные железобетонные трубы. Разработаны типовые проекты звеньев круглых железобетонных труб (рис. 22.3, *а*) с отверстиями диаметром 0,5; 0,75; 1,0; 1,25 и 1,5 м.

Трубы с отверстием 0,5 м применяют на съездах, с отверстием 0,75 м — при насыпях высотой до 1,5 м, с отверстием 1,0... 1,5 м — при насыпях высотой до 7,5 м. Длину звеньев таких труб принимают равной 2,0... 3,0 м. Арматурный каркас круглых труб состоит из двух рядов рабочей арматуры класса А-II, расположенной по окружности и выполненной в виде спирали, поперечной арматуры в виде хомутов и распределительной продольной арматуры класса А-I. Толщина стенок звеньев $h = 8 \dots 16$ см. Железобетонные трубы

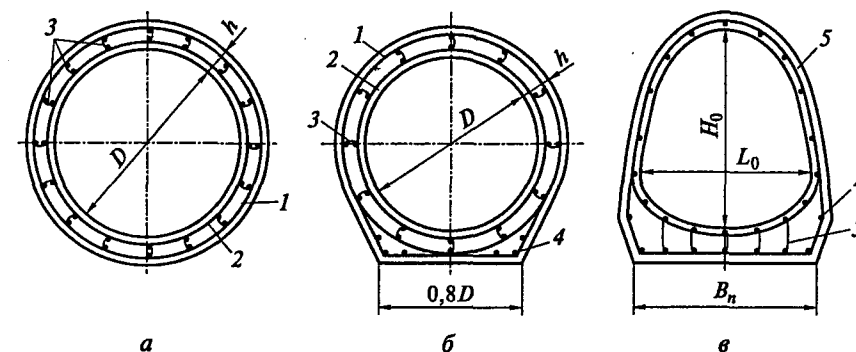


Рис. 22.3. Конструкция звеньев железобетонных труб:

а — круглой; *б* — круглой с плоской подошвой; *в* — оvoidальной с плоской подошвой; 1, 2 — рабочая и кольцевая арматура; 3 — хомуты; 4 — арматурная сетка пяты; 5 — арматурная спираль свода

изготавливают из тяжелого бетона со средней плотностью от 2,2 до 2,5 т/м³ классом не ниже В30, водонепроницаемостью не меньше W6 и морозостойкостью для умеренных условий (среднемесячная температура наиболее холодного месяца – 10 °С и выше) F200, для суровых и особо суровых условий — F300.

Звенья круглых железобетонных труб сложно равномерно опирать на основание или фундамент. Для устранения этого недостатка разработан типовой проект звеньев круглых железобетонных труб с отверстием 1,0; 1,25; 1,5 и 2,0 м с плоской подошвой (рис. 22.3, б). Длина звеньев 2...3 м, толщина стенки 10...24 см. Ширина подошвы 0,8D. Армирование у этих звеньев принято таким же, как у звеньев круглых труб.

Кроме того, пята армируется дополнительными сетками. Эти трубы с отверстием 1,0 и 1,25 м спроектированы для насыпей высотой 7 и 8 м соответственно, а трубы с отверстием 1,5 и 2,0 м — под насыпи высотой до 20 м.

При высоких насыпях поперечному сечению трубы придают овоидальное очертание (рис. 22.3, в), близкое к кривой давления насыпи в целях уменьшения возникающих изгибающих моментов. В таких трубах верхний свод работает как внецентренно сжатый элемент, что позволяет упростить схему армирования. Такая конструкция труб может быть применена при насыпях высотой более 12 м.

При сооружении водопропускных труб часто применяют железобетонные звенья, предназначенные для коллекторов, длиной 2...6 м, имеющие торцевые участки раструбной формы. Технико-экономические расчеты Воронежского филиала Гипродорнии показали, что эти трубы из длинномерных звеньев по сравнению с трубами из обычных (коротких) звеньев имеют следующие преимущества: удобство монтажа, существенная экономия материалов, темпы строительства повышаются и т.д. Им были разработаны проектные решения водопропускных труб из длинномерных звеньев на основе существующего типового проекта для труб с

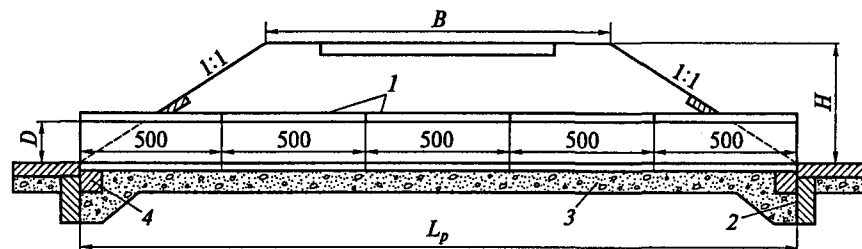


Рис. 22.4. Схема труб из длинномерных звеньев на жестком фундаменте: 1 — длинномерные звенья; 2 — противопольтрационный экран; 3 — щебеночно-песчаная подушка; 4 — оппорный блок из монолитного бетона

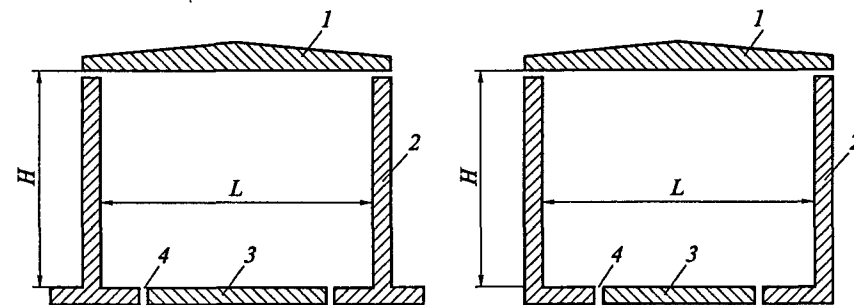


Рис. 22.5. Конструкция прямоугольных труб из сборных блоков: 1 — блоки перекрытия; 2 — стеновые блоки; 3 — лотковые блоки; 4 — стык омоноличивания

короткими звеньями. Предусмотрены два варианта труб: бесфундаментные и на жестких фундаментах (рис. 22.4). Для этих труб разработаны звенья длиной 5 м из обычного железобетона с отверстиями 1,0; 1,25 и 1,5 м, а также из предварительно напряженного железобетона с отверстиями 1,0; 1,2 и 1,6 м. Для удобства объединения звеньев на одном их конце создается раструбное уширение.

Прямоугольные звенья труб применяют при необходимости пропуска относительно больших расходов воды, а также при использовании их в качестве скотопрогонов. Применяют две разновидности сборных прямоугольных труб: замкнутые и незамкнутые.

Замкнутое звено прямоугольной трубы удобно при монтаже в короткие сроки. Для насыпей высотой до 20 м разработаны типовые проекты таких звеньев с отверстиями 2; 2,5; 3 и 4 м. Длина этих звеньев при ширине до 4 м принята 1 м. Для труб с отверстием шириной 4 м, предназначенных для наибольшей высоты насыпи, в целях уменьшения их монтажного веса принята длина 0,75 м. В их стенках с толщиной 13...30 см, выполненных из гидротехнического бетона класса В30, применена рабочая арматура периодического профиля класса А-II и распределительная арматура класса А-I. Масса звеньев составляет от 3,5 до 10,3 т. Звенья прямоугольных труб укладывают на сборные железобетонные плиты или на монолитные фундаменты, что существенно повышает материалоемкость водопропускных труб такой конструкции.

Незамкнутые звенья состоят из двух стеновых блоков, одного лоткового и блока перекрытия (рис. 22.5). При сооружении труб из этих звеньев необходимо устраивать монтажные стыки, это требует применять сварку и выполнять работы по бетонированию, что усложняет работы и увеличивает их продолжительность.

22.3. Конструкции металлических и полимерных труб

В настоящее время наряду с железобетонными трубами нашли широкое применение металлические трубы как в нашей стране, так и за рубежом.

На основе исследований, выполненных в ЦНИИС, проектным институтом Ленгипротрансмост разработан типовой проект гофрированных труб с диаметром отверстия 1,5...3 м; ведется их массовое строительство во всех регионах страны.

По форме поперечного сечения они подразделяются на круглые, эллиптические, овоидальные, арочные и мосты-трубы.

Круглые металлические трубы (рис. 22.6) спроектированы для применения при насыпях высотой до 13 м из гофрированных листов, соединяемых болтами диаметром 15...20 мм. Материалом труб, предназначенных для обычных природно-климатических условий, может быть конструкционная медистая сталь марки 15 СП, а для труб в северном исполнении — низколегированная сталь марки 09Г2Д. Размер гофра составляет 50 мм по высоте и 150 мм по длине при толщине стенки 1,5...2,5 мм. За рубежом иногда применяют гофрированные трубы с толщиной стенки до 4,3 мм, что позволяет их использовать при высоте насыпи до 20 м.

Для защиты металла от коррозии все элементы труб оцинковывают, а на наружную поверхность трубы после ее сборки наносят два слоя горячего битума. В лотке трубы по периметру дуги окружности с центральным углом 120° укладывают слой асфальтобетона так, чтобы он располагался на 1 см выше вершины гофра.

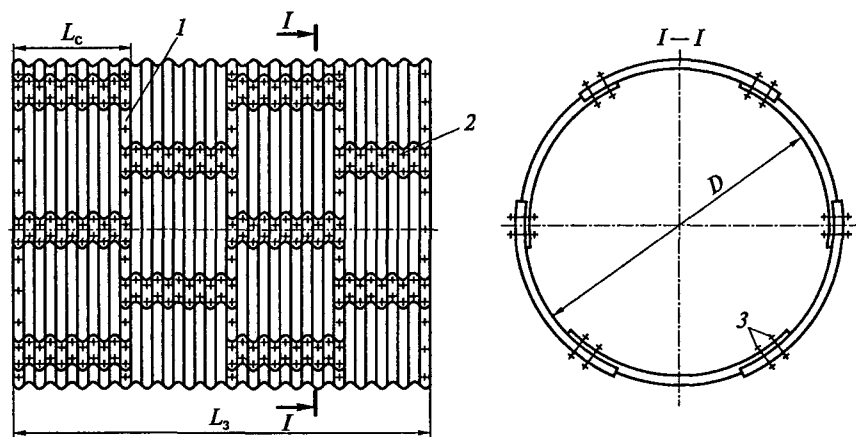


Рис. 22.6. Конструкция стальной гофрированной трубы:

L_c — длина секции трубы; L_z — длина звена трубы; I — поперечный (кольцевой) стык; 2 — продольный стык; 3 — болты

ра, предназначенного для защиты цинкового покрытия от механических повреждений.

Металлические гофрированные трубы устраивают без фундаментов. При глинистых грунтах концевые участки труб укладывают на специальную грунтовую подушку, обработанную цементом, а при песчаных грунтах концевые участки трубы опираются на специальный блок и устраивают противофильтрационный экран.

В конструкции трубы отсутствуют оголовки. Подводящие и отводящие русла надежно укрепляют в целях защиты от размыва, особенно их выходной участок.

По сравнению с железобетонными трубами металлические гофрированные трубы имеют преимущества: малый вес элементов, удобство транспортировки и складирования, простота сборки, более высокие темпы строительства.

В настоящее время появилась возможность применения в дорожном строительстве труб из синтетических полимерных материалов (стеклопластика, полимербетона, поливинилхлорида и полиэтилена). Основным положительным качеством таких материалов является их химическая стойкость в агрессивных средах и водонепроницаемость, недостатком считается склонность к старению, т. е. к изменению физико-механических свойств во времени. Кроме того, пока трубы из полимерных материалов значительно дороже, чем из традиционных строительных материалов.

В 1970-х годах был разработан проект и осуществлено строительство круглых водопропускных труб из полиэфирного стеклопластика с наполнителем из стекловолокна. В конструкциях этих труб с отверстием 1; 1,5 и 2 м был применен гофрированный лист толщиной 3...8 мм с двумя типоразмерами гофра: 139×50 и 194×70 мм. Труба с отверстием 1 м была выполнена из трех гофрированных элементов, а трубы с отверстиями 1,5 и 2 м — из четырех.

Известны примеры выполнения водопропускных труб из полимербетона. Конструктивно они выполняются аналогично трубам из обычного бетона с плоской подошвой. Длина их звеньев 2...3 м. Их обычно укладывают на подушку из песчано-гравийной или песчано-щебеночной смеси, а при наличии крупных или среднезернистых песков — непосредственно на спланированное основание.

За рубежом в последнее время находят применение полимерные трубы из поливинилхлорида (ФРГ) и полиэтилена (США и Великобритания).

По характеру статической работы под нагрузкой полимербетонные трубы занимают среднее положение между жесткими трубами и гибкими.

22.4. Основы расчета труб

На трубы под насыпями автомобильных дорог действует постоянная нагрузка от давления грунта и временная от подвижной нагрузки, которые создают вертикальное и горизонтальное давление на трубу.

На стены труб изнутри действует также давление воды, которое во многих случаях снижает наружное давление, но повышает его на фундамент и основание.

Под воздействием вертикального давления грунта засыпки возникают вертикальные перемещения трубы, труба также подвергается изгибным деформациям, величина которых зависит от ее изгибной жесткости. Кроме того, грунт, окружающий трубу, дает осадку, величина которой зависит от его упругих свойств.

При расчетах труб рассматривают две схемы взаимных осадок насыпи по бокам трубы и осадки столба грунта, расположенного над трубой (рис. 22.7).

При жестких трубах (рис. 22.7, а) осадка насыпи больше, чем осадки столба грунта над трубой на величину Δ . В результате развиваются направленные вниз силы трения P_t по боковым поверхностям, что приводит к концентрации усилия от давления засыпки на трубу, при этом $q_1 > q_2$. При нежестких трубах (рис. 22.7, б) $q_1 < q_2$, что связано с уменьшением давления на трубу.

Отмеченная особенность учитывается при расчетах усилия от давления грунта введением приведенного коэффициента вертикального давления C_v .

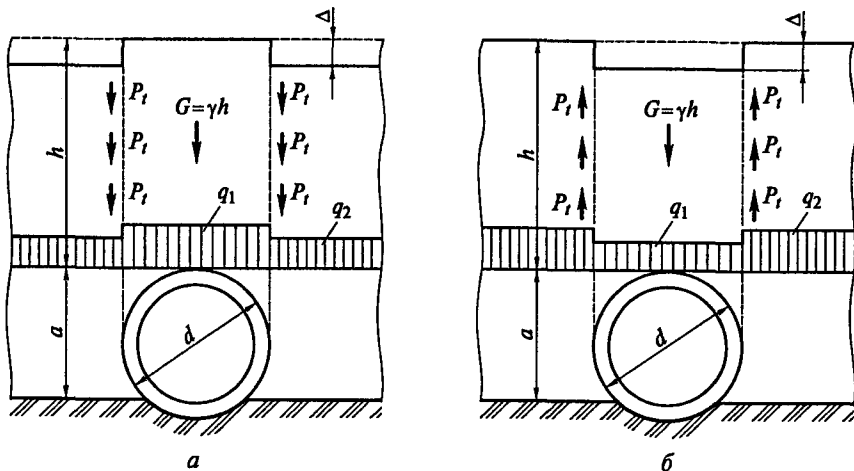


Рис. 22.7. Схемы взаимных осадок насыпи над трубой и по ее бокам:

а — жесткая труба; б — нежесткая труба

Вертикальное давление грунта от веса насыпи P_v , кПа, для звеньев труб в соответствии с п. 6 СНиП 2.05.03-84* принимается:

$$P_v = C_v \gamma_n h, \quad (22.1)$$

где γ_n — нормативный удельный вес грунта, кН/м³ (тс/м³); h — высота засыпки над трубой от верха дорожного покрытия до верха звена, м; C_v — коэффициент вертикального давления грунта для железобетонных и бетонных звеньев, определяемый по формуле

$$C_v = 1 + B \left(2 - B \frac{d}{h} \right) \tau_n \operatorname{tg} \varphi_n, \quad (22.2)$$

где d — диаметр (ширина) звена (секции) по внешнему контуру, м; φ_n — нормативный угол внутреннего трения грунта засыпки трубы, °, принимаемый равным 30° для звеньев труб в насыпи, 25° — для оголовков труб;

$$B = \frac{3}{\tau_n \operatorname{tg} \varphi_n} \frac{sa}{h}; \quad (22.3)$$

$$\tau_n = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_n}{2} \right), \quad (22.4)$$

где s — коэффициент, принимаемый равным 1,2 при неподатливых фундаментах (на скальном основании или на сваях-стойках), 1,1 — при малоподатливых фундаментах (на висячих сваях), 1,0 — при массивных фундаментах мелкого заложения и грунтовых (нескальных) основаниях; a — расстояние от основания насыпи до верха звена (секции) трубы, м.

Если $B > h/d$, то следует принимать $B = h/d$.

При расчете гибких (из гофрированного металла и т. п.) звеньев (секций) труб и при определении давления на грунтовые не- скальные основания коэффициент C_v следует принимать равным единице.

Расчетное боковое (горизонтальное) давление P_n , кПа, вычисляется по формуле

$$P_n = \gamma_n h_x \tau_n, \quad (22.5)$$

где h_x — высота засыпки от верха дорожного покрытия до середины высоты звеньев (секций) трубы.

Давление от подвижного состава на автомобильных дорогах общего пользования следует принимать от одиночных колесных и гусеничных нагрузок — НК-80 и НГ-60.

Расчетное вертикальное давление P_{vk} на звенья труб, кПа, при высоте засыпки 1 м и более от временных подвижных нагрузок вычисляется по формуле

$$P_{vk} = \psi / (3 + h), \quad (22.6)$$

в которой для НК-80 $\psi = 186$, а для НГ-60 $\psi = 108$.

При высоте засыпки меньше 1 м давление на рассматриваемую часть трубы определяют с учетом распределения давления в грунте под углом к вертикали $26,5^\circ$.

Расчетное значение горизонтального давления от временных нагрузок НК-80 и НГ-60 P_{hk} , кПа, вычисляется по формуле

$$P_{hk} = p_{vk} \tau_n, \quad (22.7)$$

в которой P_{vk} принимается по формуле (22.6)

На нагрузку АК расчет труб не производят, так как ее воздействие на трубу существенно слабее, чем воздействие нагрузок НК-80 и НГ-60.

Полные вертикальное и горизонтальное давления на трубы определяют суммированием давлений от постоянной и временной нагрузок.

Секции прямоугольных труб рассчитывают как рамы замкнутого контура на упругом основании, загруженные по всем сторонам соответствующей высоты заглубления распределенной нагрузкой (рис. 22.8, а). Эпюра изгибающих моментов в элементах такой рамы имеет вид, представленный на рис. 22.8, б. В элементах рамы от действующих нагрузок возникают и осевые усилия. Подбор сечений этих элементов производят как внецентренно сжатых.

Звенья круглых труб под воздействием давления от временной и постоянной нагрузок находятся в условиях радиального сжатия, которое распределено по контуру трубы неравномерно (рис. 22.8, в). Под действием этой нагрузки по периметру кольца возникают

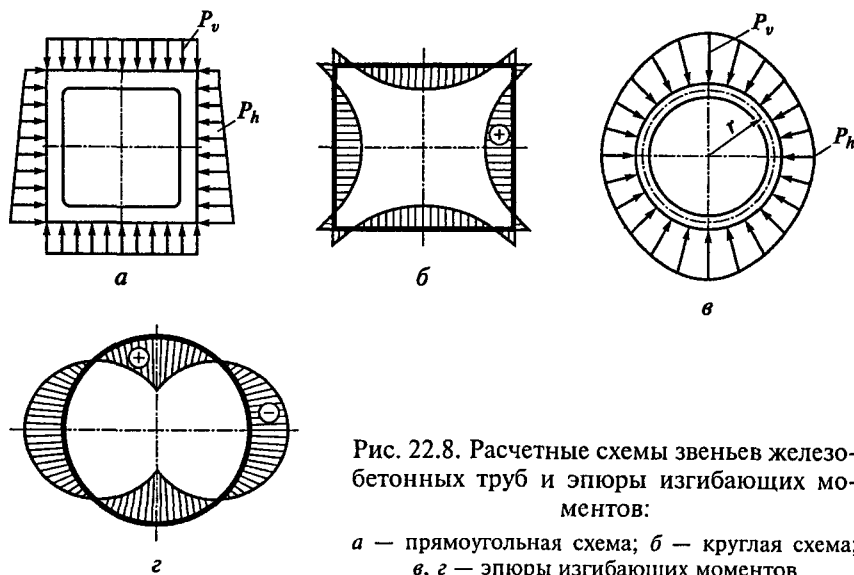


Рис. 22.8. Расчетные схемы звеньев железобетонных труб и эпюры изгибающих моментов:

а — прямоугольная схема; б — круглая схема; в, з — эпюры изгибающих моментов

изгибающие моменты, характер эпюры которых приведен на рис. 22.8, з. Наибольшее значение положительного момента в замкнутом сечении можно вычислить по приближенной формуле

$$M = 0,25 Pr^2 \left[1 - \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\Phi_n}{2} \right) \right] \gamma, \quad (22.8)$$

где r — средний радиус звена, м; P — расчетное значение усилия на звено от собственного веса грунта и временной нагрузки, принимаемое для труб под автомобильные дороги по формуле

$$P = (\gamma_{fv} P_v + \gamma_{fk} P_{vk}), \quad (22.9)$$

где γ — коэффициент условий работы, принимаемый в зависимости от условий опирания звена, $\gamma = 1$ — при грунтовом основании; $\gamma = 0,9$ — при опирании звеньев на фундамент через бетонную подушку с углом охвата $\alpha \geq 120^\circ$; γ_{fv} — коэффициент надежности по нагрузке от веса насыпи, равный 1,3; γ_{fk} — то же, от временной нагрузки, равный 1,2.

В средней части по высоте в рабочем положении трубы возникают отрицательные моменты (см. рис. 22.8, з), абсолютные значения которых несколько меньше максимального значения положительного момента. Трубу следует конструировать так, чтобы она в любом положении была способна воспринимать возникающие моменты обоих знаков, что обеспечивается двойным армированием (см. рис. 22.3), т. е. размещением спиральной арматуры у внешней и внутренней поверхности трубы с обеспечением для каждой из них требуемой толщины защитного слоя.

Расчет на прочность на действие положительного и отрицательного изгибающих моментов производится по правилам расчета изгибаемых железобетонных элементов по условию

$$M \leq M_{пр},$$

где $M_{пр}$ — предельный изгибающий момент, воспринимаемый сечением звена.

Предельное раскрытие трещин при расчете сечения трубы на трещиностойкость при этом не должно превышать 0,02 см.

Гофрированные стальные трубы рассчитывают по предельному равновесию, характеризуемому деформационным критерием и сопровождающемуся значительными изменениями формы поперечного сечения трубы (рис. 22.9) и развитием пластических деформаций при изгибе стенки. Это позволяет примерно вдвое увеличить предельные нагрузки по сравнению с нагрузками, получаемыми при расчете с использованием только упругой стадии работы материала гофрированной трубы.

Условие, гарантирующее конструкцию этой трубы в эксплуатации от наступления первого предельного состояния, характе-

ризуемого предельным статическим равновесием взаимодействующей системы «конструкция — грунт», удовлетворяется неравенством

$$P < P_{calc},$$

где P — интенсивность вертикального давления грунта на трубу от постоянных и временных нагрузок с учетом коэффициентов перегрузки согласно действующим нормам; P_{calc} — расчетная несущая способность трубы в грунте, т.е. интенсивность предельно допустимой нагрузки из условия предельного статического равновесия рассчитываемой системы.

Расчетную несущую способность трубы P_{calc} , кгс/см², определяют по формуле

$$P_{calc} = K_{yb} q_{1p},$$

где K_{yb} — коэффициент увеличения несущей способности трубы за счет упругого отпора окружающего грунта, $K_{yb} = 1 + 12,1x \cdot 10^{-4} / \sqrt{G}$; q_{1p} — расчетная несущая способность трубы вне грунта для рекомендуемых сталей, кгс/см², $q_{1p} = 0,032 \cdot 10^{16} W^2 / D^2$; W — момент сопротивления продольного (вдоль трубы) сечения брутто стенки на единицу длины трубы, см³/см; D — диаметр трубы по средней линии гофров, см; G — обобщенный показатель жесткости взаимодействующей системы «конструкция — грунт», см³/кгс, $G = W / (D^2 E_{tr})$; E_{tr} — компрессионный модуль деформации грунта

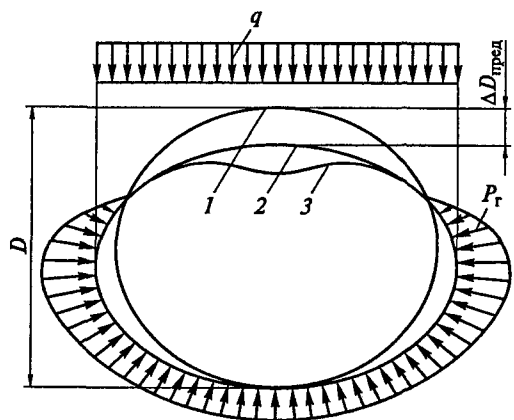


Рис. 22.9. Расчетная схема деформирования гибкой стальной трубы под действием нагрузки q и упругого отпора грунта P_r :

1 — сечение трубы до деформации; 2 — то же, в момент предельного статического равновесия; 3 — то же, в предельном состоянии; D — диаметр трубы; $\Delta D_{пред}$ — предельная деформация

засыпки, принимаемый на основе компрессионных испытаний, кгс/см² (в пределах 50...600 кгс/см²).

Нормы проектирования рассматриваемых труб (ВСН 176-78) содержат, кроме приведенного главного расчета, расчеты предельных относительных значений уменьшения вертикального диаметра $\Delta D_{пред}$, расчет осадок труб в целях назначения строительного подъема, проверку общей устойчивости формы поперечного сечения трубы и расчет болтовых стыковых соединений.

Расчет болтовых соединений продольных стыков производится на суммарные сдвигающие усилия от действия осевой сжимающей силы и изгибающего момента, соответствующего образованию пластического шарнира в стенке трубы. Расчет ведется в предположении, что усилия между всеми болтами соединения распределяются равномерно.

22.5. Основы технологии строительства труб

Разбивочные работы. До начала постройки трубы с места ее сооружения удаляется все, что может помешать выполнению работ. При наличии подземных коммуникаций производится их перенос, что должно быть согласовано с организациями, в ведении которых находятся эти объекты. Русло действующего водотока с помощью специальных канав необходимо отвести от участка.

Геодезические и разбивочные работы при строительстве труб должны обеспечить положение их в плане и профиле в соответствии с проектом. При разбивке оси трубы на местности восстанавливается ось трассы, строго устанавливается место положения продольной оси трубы от ближайшего пикета трубы и закрепляется с помощью двух столбов, на которых строго по оси трассы забивают гвоздь. В этой точке центрируется вертикальная ось теодолита и переносится в натуру угол между продольной осью трубы и направлением трассы дороги. Продольную ось трубы закрепляют контрольными столбиками (по два с каждой стороны), устанавливаемыми так, как показано на рис. 22.10. С ближайшего репера на столбы, закрепляющие продольную ось трубы, передаются нивелированием отметки.

Затем у продольной оси трубы с помощью металлической рулетки и эккера разбивают котлован, по контуру которого забивают колья и устраивают обноску (см. рис. 22.10). Закрепительные столбы и высотные реперы устанавливают так, чтобы была обеспечена их сохранность на все время постройки трубы вплоть до сдачи ее в эксплуатацию.

При строительстве трубы осуществляется геодезический контроль положения оси трубы в плане и по высоте, контроль отметок

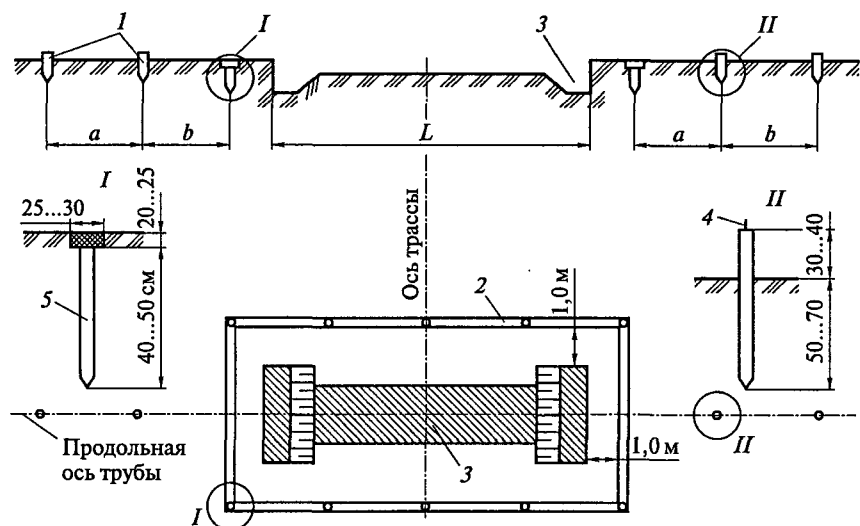


Рис. 22.10. Схема разбивки котлована трубы:

I — выносные колья; *2* — обноска из брусьев (или досок); *3* — котлован; *4* — гвоздь; *5* — свая обноски; *L* — длина котлована; *a* = 10...15 см; *b* = 10...15 см

дна котлована под фундамент трубы, контроль положения в плане и по высоте элементов трубы.

Разработка котлованов и устройство фундаментов. Методы и способы рытья котлованов зависят от гидрологических условий, места строительства трубы, а также от условий строительства и наличия средств механизации.

Котлованы в песчаных грунтах разрабатывают до проектной отметки, а в глинистых грунтах — ниже проектной отметки на 0,1...0,2 м. В слабых песчаных и мокрых глинистых грунтах дно котлована после отрывки уплотняют слоем щебня толщиной не менее 10 см.

В случае расположения трубы на склонах естественные поверхности участка под котлован должны быть выровнены по возможности до одинаковых отметок с обеих сторон котлована на ширину, необходимую для прохода монтажного крана. Если котлован устраивают в теле насыпи существующего земляного полотна, то откосам насыпи должно быть придано заложение, обеспечивающее их естественную устойчивость.

Разработка котлованов производится с использованием экскаваторов, бульдозеров и других землеройных машин. Грунт из котлована удаляется от него так, чтобы на всех этапах работ не создавались препятствия для передвижения строительных машин. Выравнивание дна котлована перед устройством подушки выполняется ручными инструментами.

В законченном котловане необходимо устраивать водоотводные канавы для выпуска из него воды или устраивать водосборные колодцы для откачки воды насосами.

Подготовленный котлован должен быть освидетельствован и принят с оформлением акта комиссией с участием представителя заказчика. Песчано-гравийную или песчано-щебеночную подушку устраивают путем подачи материалов в котлован самосвалами и разравнивания его горизонтальными слоями толщиной не более 15 см с тщательным уплотнением механическими трамбовками. По оси трубы с круглыми звеньями с помощью специальных трамбовок, имеющих криволинейную контактную поверхность, устраивают лоток по дуге окружности, соответствующей величине наружного диаметра звена.

Плиты прямоугольных труб укладывают на щебеночную (гравийную) подушку толщиной не менее 30 см, тщательно выравнивают ее и втрамбовывают в грунт основания котлована.

Монтаж звеньев и оголовков труб. При значительных уклонах места расположения трубы ее монтаж следует начинать с монтажа выходного оголовка. После установки всех элементов оголовка приступают к монтажу звеньев труб. При небольших уклонах допускается одновременный монтаж входного и выходного оголовков. При этом необходимо тщательно контролировать расстояние между внутренними гранями обоих оголовков с учетом фактических длин звеньев, поступающих на стройплощадку, и образуемых между ними в процессе монтажа швов. Подъем и установку звеньев длиной до 4...5 м осуществляют кранами с помощью траверс (рис. 22.11). Звенья бесфундаментных круглых труб укладывают на подготовленную гравийно-песчаную подушку. С обеих сторон спланированного лотка до начала засыпки трубы грунт необ-

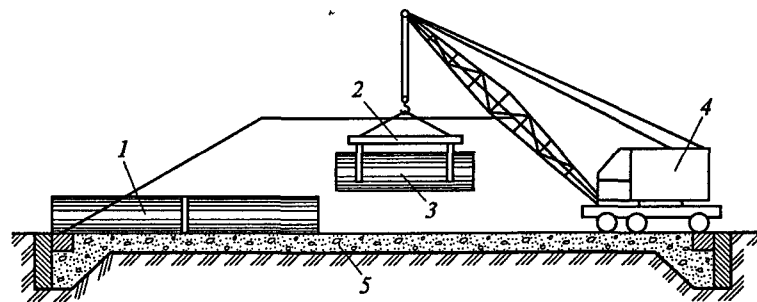


Рис. 22.11. Монтаж круглой одноочковой трубы из длинномерных элементов:

1 — смонтированная часть трубы; *2* — траверса; *3* — монтируемый блок; *4* — монтажный кран; *5* — грунтовая подушка

ходимо тщательно уплотнить в целях создания плотного контакта звеньев с грунтовым основанием.

Швы между звеньями по окончании монтажа плотно запечатывают снаружи и изнутри жгутом из пакли, пропитанной битумом. Жгуты, поставленные с внутренней стороны, заделывают внутрь шва на 2...3 см от поверхности звена.

Устройство гидроизоляции и засыпка труб грунтом. До засыпки труб грунтом после заполнения зазоров между звеньями в сухую погоду при температуре воздуха не ниже $+5^{\circ}\text{C}$ в соответствии с проектом выполняются обмазочные или оклеечные гидроизоляционные работы.

Изолируемые поверхности трубы перед нанесением как обмазочной, так и оклеечной гидроизоляции грунтуют битумным лаком. Оклеечная гидроизоляция выполняется из двух-трех слоев битумной мастики толщиной 2...3 мм, армируемой различными материалами: тканями, гидроизолом, рубероидом, пергаментом. Полотна рулонного материала соединяют внахлестку шириной 10...15 см. Обмазочная гидроизоляция выполняется из двух слоев асбестобитумной мастики, которую наносят шпателем слоями толщиной 1,5...3 мм. Каждый последующий слой наносят только после отвердения и высыхания уложенного ранее.

Швы в стыках звеньев или секций труб конопатят с обеих сторон паклей, пропитанной битумом. С наружной стороны трубы поверх пакли наносят слой горячей битумной мастики и наклеивают два слоя стеклопластика шириной 25 см, которые покрывают битумной мастикой (рис. 22.12). С внутренней стороны трубы шов на глубину 3 см заделывают цементным раствором.

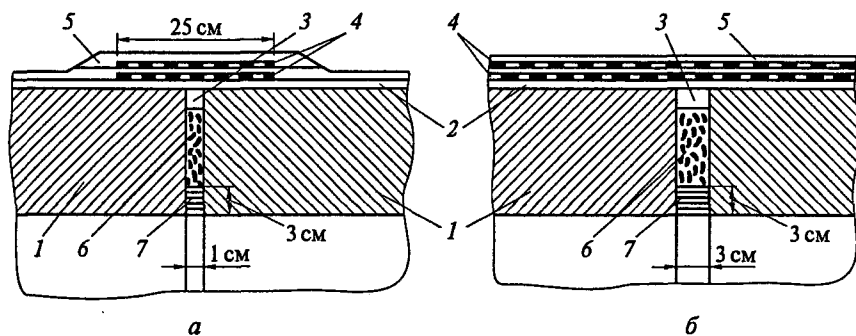


Рис. 22.12. Гидроизоляция стыков звеньев труб:

а — при обмазочной гидроизоляции; б — при оклеечной гидроизоляции; 1 — звено трубы; 2 — битумный лак; 3 — слой асбестобитумной мастики толщиной 1,5...3 мм; 4 — стеклоткань (два слоя); 5 — отделочный слой из битумной мастики; 6 — пропитанная битумом пакля; 7 — цементный раствор

После устройства гидроизоляции трубу засыпают грунтом. Засыпка труб производится местными хорошо уплотняемыми однородными грунтами, применяемыми при отсыпке земляного полотна, а при наличии вблизи строящейся трубы песчаного карьера используют песчаный грунт. Вначале грунтом заполняются и уплотняются пазухи между стенками котлована и фундаментом. Затем приступают к устройству уплотняющей призмы вокруг трубы. Труба может сооружаться раньше отсыпки земляного полотна или одновременно с его отсыпкой, или после отсыпки в ее прогале.

Отсыпку грунта уплотняющей призмы производят наклонными слоями не круче 1:5, толщиной 15 см одновременно с двух сторон с послойным уплотнением. Особое внимание следует уделять уплотнению пазух, образуемых круглыми трубами. Вышележащую часть насыпи (при высоте до 8 м) отсыпают горизонтальными слоями. Если же высота превышает 8 м, то над трубой устраивают разуплотняющую призму с коэффициентом уплотнения 0,85...0,90, в то время как для остальной части засыпки этот показатель должен быть не менее 0,96...0,98.

В ходе засыпки трубы осуществляется контроль за степенью уплотнения грунта не реже чем через 1,5 м по высоте насыпи и равномерно по площади слоя.

После окончания засыпки труб и уплотнения грунта проводятся работы по укреплению откосов насыпей у оголовков для предотвращения их размыва.

Наиболее надежным является укрепление откосов монолитным бетоном. Укладку бетона по откосу насыпи ведут снизу вверх. Уложенный бетон выравнивают поверхностными вибраторами.

Контрольные вопросы

1. Какое назначение имеют оголовки водопропускных труб?
2. Почему в круглых железобетонных водопропускных трубах устанавливают два слоя спиральной арматуры?
3. Какие основные преимущества имеют металлические трубы?
4. Чем определяются отличия в работе металлических и железобетонных труб под действием нагрузок?