

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)»  
Кафедра «Строительство и эксплуатация дорог»

А.С. Александров, Т.В. Семенова

# ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ВОДПРОПУСКНЫХ ТРУБ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*Учебное пособие*



Омск • 2015

УДК 625.74  
ББК 39.31  
А46

*Рецензенты:*

канд. техн. наук, доц. М.Г. Горячев (ФГБОУ ВПО «МАДИ»);  
и.о. директора Омского филиала ФКУ «Сибуправтодор» Е.В. Стипури

Работа утверждена редакционно-издательским советом академии в качестве учебного пособия.

**Александров, А.С.**

**А46 Технология строительства водопропускных труб автомобильных дорог** [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.С. Александров, Т.В. Семенова. – Омск : СибАДИ, 2015. – Режим доступа:....., свободный после авторизации. – Загл. с экрана.  
ISBN 978-5-93204-800-9

Освещаются вопросы, связанные с технологией строительства водопропускных труб автомобильных дорог. Представлен обзор конструкций водопропускных труб, материалы и изделия для их устройства, современных технологических процессов, обеспечивающих качество строительства. Рассмотрена технология производства работ по строительству водопропускных труб, а также контроль качества работ.

Содержит интерактивное оглавление в виде закладок, что обеспечивает навигацию по главам; интерактивные переходы от ссылок в тексте к библиографическому списку.

Предназначено для студентов всех форм обучения высших технических учебных заведений по направлению «Строительство» для профилей и специализаций дорожной отрасли, также будет полезно инженерно-техническим работникам дорожной сферы деятельности.

Текстовое (символьное) издание (6,0 МБ)

Системные требования : Intel, 3,4 GHz ; 150 МБ ; Windows XP/Vista/7 ; DVD-ROM ;

1 Гб свободного места на жестком диске ; программа для чтения pdf-файлов Adobe Acrobat Reader ; Internet Explorer

Редактор И.Г. Кузнецова

Техническая подготовка – Т.И. Кукина

Издание первое. Дата подписания к использованию 18.06.2015

Издательско-полиграфический центр СибАДИ. 644080, г. Омск, пр. Мира, 5  
РИО ИПЦ СибАДИ. 644080, г. Омск, ул. 2-я Поселковая, 1

© ФГБОУ ВПО «СибАДИ», 2015

## ВВЕДЕНИЕ

Водопропускные трубы являются самыми распространенными искусственными сооружениям на автомобильных дорогах [1, 2].

Труба – это инженерное сооружение, укладываемое в тело насыпи автомобильной (железной) дороги для пропуска водного потока, дороги или скотопргона [2, 3]. Перед малыми мостами водопропускные трубы имеют существенные преимущества. Во-первых, при применении труб земляное полотно получается непрерывным, что повышает комфортабельность проезда [2]. Во-вторых, стоимость и трудоемкость сооружения трубы гораздо ниже, чем малого моста [2].

До 2000 г. наибольшее распространение имели круглые железобетонные трубы диаметром до 1,5 м. Таких труб насчитывалось до 78–80 % от общего количества [2]. Прямоугольные железобетонные трубы применялись гораздо реже. Для примера построенные круглая и прямоугольная железобетонные трубы приведены на рис. 1 и 2.



Рис. 1. Общий вид эксплуатируемой круглой железобетонной трубы



Рис. 2. Общий вид эксплуатируемой прямоугольной железобетонной трубы

В настоящее время в ХМАО, ЯНАО и других северных районах РФ широко используются металлические гофрированные трубы, поэтому применение железобетонных водопропускных труб несколько уменьшилось.

До 1970 г. для строительства труб в основном применяли короткие железобетонные звенья длиной 1 м [2]. С оснащением дорожно-строительных организаций более мощным крановым оборудованием стали широко применяться более технологичные длиномерные (длиной до 5 м) звенья круглых труб ливневой канализации для промышленных предприятий.



Трубы из гофрированного металла были впервые применены при строительстве БАМа [4].

С целью экономии материала и увеличения долговечности труб происходит постоянное совершенствование их конструктивных элементов, направленное на повышение пропускной способности водного потока в обычных дорожно-климатических условиях, в условиях вечной мерзлоты, а также на косогорных участках дорог [2].

## **1. КОНСТРУКЦИИ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ИХ УСТРОЙСТВА**

Водопропускные трубы – это искусственные сооружения, предназначенные для пропуска под насыпями дорог небольших постоянных или периодически действующих водотоков.

Водопропускные трубы различают:

1. По материалу тела трубы – бетонные, железобетонные, металлические, полимерные.
2. По форме поперечного сечения – круглые, прямоугольные, эллиптические.
3. По числу очков в сечении – одно-, двух-, многоочковые.
4. По работе поперечного сечения – безнапорные, напорные, полунанпорные.
5. Оголовочные и безоголовочные.
6. Фундаментные и бесфундаментные.

В соответствии с ГОСТ 24547-81[5] звенья по форме поперечного сечения подразделяют на три типа: ЗКЦ – круглые цилиндрические, ЗКК – круглые конические (для оголовков), ЗП – прямоугольные. Внутренний диаметр цилиндрических и меньший диаметр конических звеньев (в свету) – 500, 750, 1 000, 1 250, 1 500, 2 000 мм. Ширина отверстия прямоугольных звеньев (в свету) – 1 000, 1 250, 1 500, 2 000, 2 500, 3 000, 4 000 мм. Длина звеньев круглых труб составляет 1 000, 1 500, 2 000 мм. Длина звеньев прямоугольных труб – 750, 1 000 мм. По соглашению предприятия-изготовителя с потребителем и согласованию с проектной организацией допускается изготовление звеньев длиной 3 000 мм.

На рис. 3 и 4 приведены круглые цилиндрические и прямоугольные звенья водопропускных железобетонных труб.







Рис. 3. Звенья круглые цилиндрические



Рис. 4. Звено прямоугольное

Такие звенья обозначают марками в соответствии с ГОСТ 23009-78 [6]. Марка звеньев состоит из одной или двух буквенно-цифровых групп, разделенных дефисом. Первая группа содержит обозначение типа звена и номинальные габаритные размеры: внутренний диаметр (или ширина и высота в свету) звена трубы и толщина стенки в сантиметрах. Например, условное обозначение (марка) круглого цилиндрического звена внутренним диаметром 1 250 мм, длиной 1 500 мм и с толщиной стенки 140 мм, предназначенного для эксплуатации в обычных условиях, дается в виде ЗКЦ 125.150.14.

Для звеньев труб, предназначенных к применению в районах с расчетной температурой наружного воздуха ниже  $-40^{\circ}\text{C}$  и наличием агрессии, во вторую группу марки включают соответствующие обозначения характеристик, обеспечивающих долговечность звеньев в условиях эксплуатации. Например: М – для звеньев, применяемых в районах с расчетной температурой наружного воздуха ниже  $-40^{\circ}\text{C}$ ; для звеньев, применяемых в условиях воздействия агрессивных сред, – характеристики проницаемости бетона (Н – нормальная, П – повышенная, О – особо низкая) и вид агрессии (Щ – щелочная, К – кислотная и др.).

Например, условное обозначение (марка) круглого конического (для оголовка) звена меньшим внутренним диаметром 1 250 мм, длиной 1 320 мм и толщиной стенки 120 мм, предназначенного для эксплуатации в районах с расчетной температурой наружного воздуха ниже  $-40^{\circ}\text{C}$ , дается в виде ЗКК 125.132.12-М. Условное обозначение прямоугольного звена отверстием шириной 1 000 мм, высотой 1 500 мм, длиной 1 000 мм и толщиной боковой стенки 110 мм, предназначен-



ного для эксплуатации в условиях воздействия среднеагрессивной щелочной среды, дается в виде ЗП 100 / 150.100.11-ПЩ.

В настоящее время выпускаются звенья с плоским основанием, а труба может быть построена из полуколец или арочного типа. На рис. 5 и 6 приведены круглое звено с плоским основанием и труба из полуколец.



Рис. 5. Звено круглое с плоским основанием



Рис. 6. Труба из полуколец

По сравнению с круглыми звеньями трубы с плоским основанием имеют преимущества [2]. Во-первых, фиксированное положение звена с плоским основанием приводит к более экономичному армированию. Во-вторых, достигается высокое качество уплотнения грунта около трубы. В-третьих, более удобно производить гидроизоляционные работы. И наконец, при плоском фундаменте монтаж круглых звеньев требует выполнения мероприятий по обеспечению их устойчивости. Поэтому зачастую круглые звенья укладывают в лекальные блоки. При устройстве трубы из круглых звеньев с плоским основанием лекальных блоков не требуется.

На рис. 7 представлен общий вид лекального блока, а на рис. 8 приведены круглые цилиндрические звенья, уложенные в такие блоки.





Рис. 7. Общий вид лекального блока



Рис. 8. Звенья, уложенные на лекальные блоки

На рис. 9 представлен фрагмент монтажа звеньев с плоским основанием на плоский фундамент.



Рис. 9. Монтаж звеньев с плоским основанием на плоский фундамент

Устройство труб из звеньев с плоским основанием весьма эффективно. Так, строительство труб с плоским основанием диаметром 1,5 м и длиной звеньев 3 м [7] и диаметром 1 м и длиной звеньев 2 м





[8] приводит к увеличению производительности на 20 %, уменьшению расхода материалов на 50 %, а арматуры – на 10 %.

Трубы из железобетонных полуколец также имеют ряд преимуществ перед трубами из круглых цилиндрических звеньев. Облегчается монтаж и последующие гидроизоляционные работы, повышается устойчивость.

Металлические гофрированные трубы (МГТ) – сооружение из гофрированных металлических структурных элементов, имеющее замкнутый или открытый снизу контур, размещаемое под грунтовой насыпью и предназначенное для пропуска постоянного или временного водотока либо для пропуска пешеходов или наземного транспорта. МГТ могут служить также основным элементом противообвальных и лавинозащитных галерей [9].

Такие трубы устраивают из металлических гофрированных структур. Металлические гофрированные структуры (МГС) – металлические (стальные) гофрированные листы расчетной толщины, подготовленные к сборке: изогнутые по форме соответствующей части контура будущего сооружения (металлической гофрированной трубы), покрытые слоем расчетной толщины коррозионной изоляции, имеющие заранее просверленные отверстия для сборки требуемого контура сооружения крепежными элементами [9].

На рис. 10 приведены металлические гофрированные структуры (листы), а на рис. 11 представлена секция трубы.



Рис. 10. Металлические гофрированные структуры (листы)



Рис. 11. Секция металлической гофрированной трубы

Сборку звеньев и секций труб производят при помощи болтовых соединений, которые устраивают в отверстиях, имеющих в металлических листах.





Заводами выпускаются МГТ с различной геометрией поперечных сечений замкнутого и разомкнутого контуров: круглые, полицентрические, арочные, коробчатые [9].

По условиям применения в качестве водопропускных сооружений наибольшее распространение получили круглые замкнутые контуры. Преимущество труб такого контура состоит в том, что расчетные схемы узлов всего контура при различных видах нагрузок и воздействий поддаются наиболее точному определению, а технология монтажа, сборки и сооружение грунтовой обоймы достаточно просты и обеспечивают равномерное распределение нагрузок на металл трубы [9].

В качестве основного типа сооружений следует применять МГТ с вертикальным или скошенным параллельно откосу насыпи торцом концевого звена с устройством оголовков или без них [9]. Такие трубы приведены на рис. 12 и 13.



Рис. 12. Труба со скошенным торцом концевого звена



Рис. 13. Труба без скошенного торца концевого звена

Круглые МГТ наиболее экономичны по площади поперечного сечения. Они имеют наибольшую конструктивную прочность по отношению к нагрузкам и поэтому в наибольшей степени подходят для высоких насыпей.

МГТ с эллиптическим сечением устраивают в виде горизонтального или вертикального эллипса.





Рис. 14. Металлическая гофрированная труба с сечением в виде горизонтального эллипса

Другим вариантом поперечного сечения МГТ является контур замкнутого арочного типа. МГТ с такой формой поперечного сечения приведена на рис. 15.



Рис. 15. Металлическая гофрированная труба с сечением в виде арочного замкнутого контура

сборке на заводе-поставщике с отражением в документации поставки. При монтаже на стройплощадке контроль сборки должен включать промеры пролета и высоты контура МГТ и контроль соответствия радиусов заводскому паспорту [9].

На рис. 14 приведена МГТ с сечением в виде горизонтального эллипса.

МГТ с сечением в виде горизонтального эллипса целесообразно устраивать при ограниченной высоте насыпи [9], а в виде вертикального эллипса – в горных и предгорных районах при интенсивных повышениях горизонта ливневых паводков и для высоких насыпей [9].

Такие трубы устраивают при ограниченной высоте насыпи и для пропуска значительного объема воды при малой высоте сооружения.

В соответствии с рекомендациями [9] соотношение радиусов боковых сторон эллипсовидных контуров должны обеспечивать плавное сопряжение точек касания и контролироваться при



Наряду с представленными конструкциями МГТ выполняют строительство металлических гофрированных труб с разомкнутым контуром арочного и коробчатого типов. Такие конструкции приведены на рис. 16 и 17.



Рис. 16. МГТ с разомкнутым контуром коробчатого типа



Рис. 17. МГТ с разомкнутым контуром арочного типа

Для регулирования водного потока и обеспечения плавности его протекания, а также для предотвращения продольных смещений (растяжений) элементов трубы при оползаниях откосов насыпи входные и выходные участки трубы оборудуются оголовками [10, 11]. По конструкции оголовки бывают раструбные, коридорные, воротниковые, обтекаемые и порталные [2, 10, 11]. Портальные оголовки являются наиболее простой конструкцией, состоящей из подпорной стенки. Такие оголовки не обеспечивают плавного протекания воды и поэтому их применяют при малых расходах воды [10]. Раструбные оголовки состоят из порталной стенки и откосных крыльев переменной высоты, которые расположены под углом  $17-20^\circ$  к оси трубы [10]. Коридорные оголовки состоят из порталной стенки и откосных крыльев постоянной высоты, установленных параллельно друг другу [10].

На рис. 18 и 19 приведены порталный и раструбный оголовки.





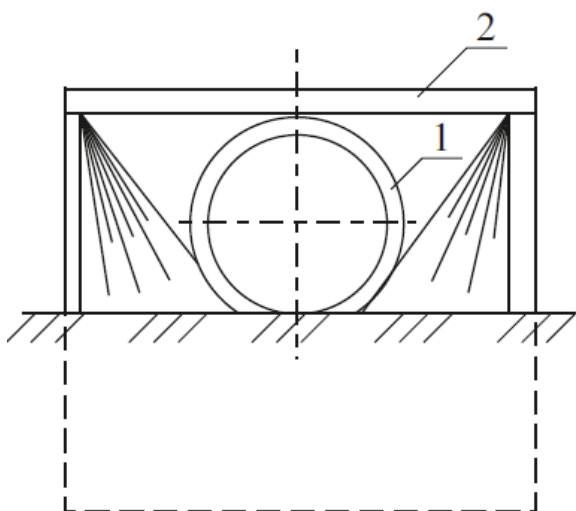


Рис. 18. Портальный оголовок:  
1 – звено трубы; 2 – порталная  
(подпорная) стенка

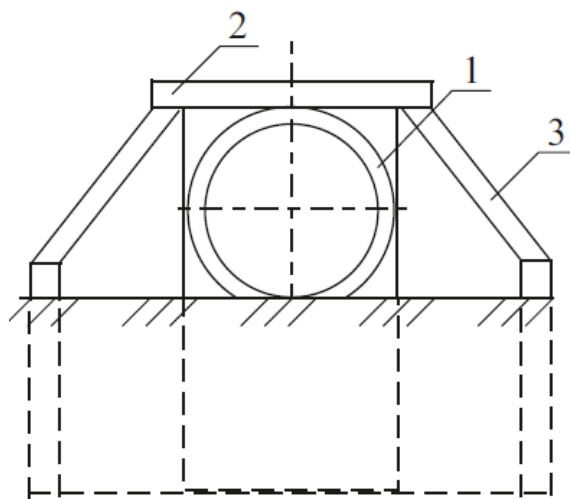


Рис. 19. Раструбный оголовок:  
1 – звено трубы; 2 – порталная  
стенка; 3 – откосные крылья

Водопропускные трубы могут работать в одном из трех режимов:  
1 – безнапорные трубы, работающие неполным сечением на всём протяжении.

2 – напорные трубы, работающие полным сечением на всём протяжении.

3 – полунанпорные трубы, работающие у входного оголовка полным сечением, а на остальной длине – неполным.

На рис. 20 представлен продольный разрез металлической гофрированной трубы (МГТ).

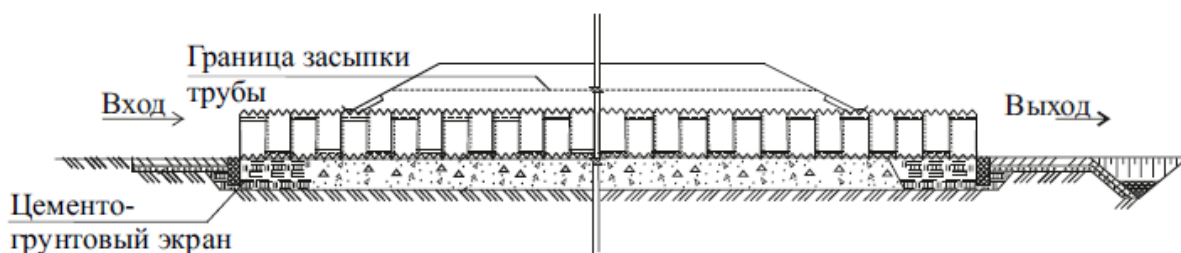


Рис. 20. Продольный разрез металлической гофрированной трубы

Из рис. 20 следует, что строительство трубы сопряжено с устройством ряда конструктивных элементов (котлован под материалы подушки, подушка из инертных материалов, цементогрунтовый экран, МГТ с устройством лотка, грунтовая призма и т.д.). Поэтому технология строительства трубы обуславливается ее конструкцией и включает в себя множество технологических операций.



В любом случае строительство трубы начинают с подготовительных работ.

### Контрольные вопросы

1. Что такое водопропускные трубы?
2. По каким параметрам различают водопропускные трубы?
3. Какие звенья подразделяют по форме поперечного сечения?
4. Из каких материалов изготавливают водопропускные трубы?
5. Как обозначают марку звеньев водопропускных труб?

## 2. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Подготовительные работы при строительстве водопропускных труб включают:

1. Восстановление оси трубы.
2. Устройство подъездных дорог.
3. Доставка машин, оборудования и бытовых помещений.
4. Монтаж бытовых помещений.
5. Расчистка зоны строительной площадки от растительного грунта.
6. Планировка строительной площадки.
7. Разбивка контуров траншеи и котлованов.
8. Устройство сооружений для защиты будущего котлована от увлажнения поверхностными водами.
9. Завоз и складирование материалов и изделий.

### 2.1. Восстановление и закрепление осей водопропускных труб.

#### Разбивка контуров траншей и котлованов

Восстановление и закрепление осей искусственных сооружений на местности производят одновременно с восстановлением и закреплением оси и всех элементов трассы на местности [12]. Работы по переносу и закреплению элементов трассы и осей искусственных сооружений на местность впервые выполняются в период изыскательских работ. С момента завершения изыскательских работ до начала строительства проходит определенный промежуток времени, за кото-



рый часть геодезических знаков в силу определенных обстоятельств может быть потеряна [13]. Кроме того, в этот промежуток времени разрабатываются проект строительства дороги, проект организации строительства и проект производства работ, в которых производят технико-экономическое сравнение и обоснование различных решений. В ходе работ над проектами в существующую геодезическую основу могут быть внесены изменения, что обуславливает необходимость производить геодезические работы на некоторых участках трассы заново. Поэтому комплекс подготовительных работ всегда начинают с восстановления и закрепления на местности всех элементов трассы и осей искусственных сооружений [12, 13].

Для восстановления осей искусственных сооружений необходимо иметь на местности закрепленные пикеты и плюсовые точки трассы. Для правильного закрепления оси водопропускной трубы необходимо выполнить ряд работ в определенной последовательности [12].

Во-первых, необходимо установить ближайший к оси трубы пикет. Например, труба должна быть устроена на ПК 15+68, тогда расстояние от оси трубы до 15-го пикета трассы составит 68 м, а до 16-го пикета трассы – 32 м. Следовательно, ближайшим пикетом до оси трубы является 16-й пикет.

Во-вторых, необходимо промерить расстояние от геодезического знака, обозначающего местоположение оси дороги на ближайшем пикете до оси трубы [12]. Измерения выполняются дважды при помощи рулетки. При выполнении измерения необходимо следить, чтобы измерительная лента рулетки располагалась строго по оси дороги. В рассматриваемом нами примере на местности от ПК 16 откладывается расстояние 32 м в сторону ПК 15. В результате измерений на местности получают точку, которая является точкой пересечения продольных осей дороги и трубы. В этой точке устанавливают деревянный столб, в который на уровне земли вбивается гвоздь. Таким образом, интересующая нас точка пересечения осей трубы и дороги зафиксирована на местности. Схема закрепления точки пересечения приведена на рис. 21.

В-третьих, следует перенести на местность местоположение оси трубы и закрепить эту ось геодезическими знаками. Для этого при помощи теодолита переносится угол между осью дороги и осью трубы. Отложив угол между осью дороги и осью трубы сначала с одной стороны, а затем с другой, мы восстановим продольную ось трубы. В ходе выполнения измерения угла между осями трубы и трассой полу-





ченное местоположение оси трубы необходимо закреплять на местности. Продольную ось трубы каждой стороны трассы закрепляют двумя контрольными точками (по 2 столба в каждую сторону), установленными на расстоянии 10–15 м от внешней границы будущего котлована. Эти знаки связывают между собой нивелированием и передают на них отметки от ближайших реперов.

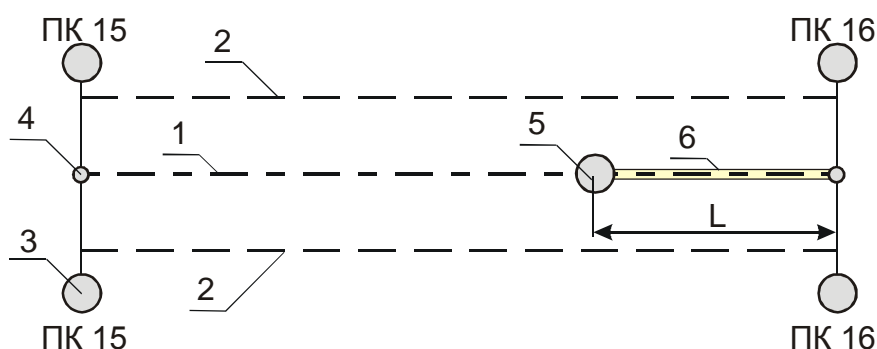


Рис. 21. Схема закрепления точки пересечения осей трубы и дороги: 1 – ось дороги; 2 – граница полосы отвода дороги; 3 – выносные столбы, закрепляющие местоположение пикета за полосой отвода; 4 – деревянный кол, вбиваемый на оси в точке, соответствующей пикету; 5 – деревянный столб, служащий для фиксации точки пересечения осей трубы и дороги; 6 – мерная лента измерительной рулетки;  $L$  – расстояние, измеряемое дважды, от ближайшего пикета до оси трубы

Схема крепления оси трубы приведена на рис. 22.

В-четвертых, необходимо выполнить закрепление на местности всех элементов трубы. Для этого одновременно с закреплением оси трубы на ней делают отметки лотков входного и выходного оголовков. От закрепленной продольной оси разбивают очертания котлована и по контуру делают обноску деревянными досками, точность разбивки ( $\pm 5$ ) см.

Созданную геодезическую основу, состоящую из закрепленных на местности оси и полосы отвода дороги, а также оси трубы и контуров котлована используют для разбивки временных сооружений, которые необходимы для постройки трубы. К таким сооружениям относят канаву, устраиваемую с верховой стороны и служащую для перехвата ливневых вод, подъездные дороги, необходимые для доставки



оборудования, материалов, грунта и изделий, территории складирования материалов и изделий.

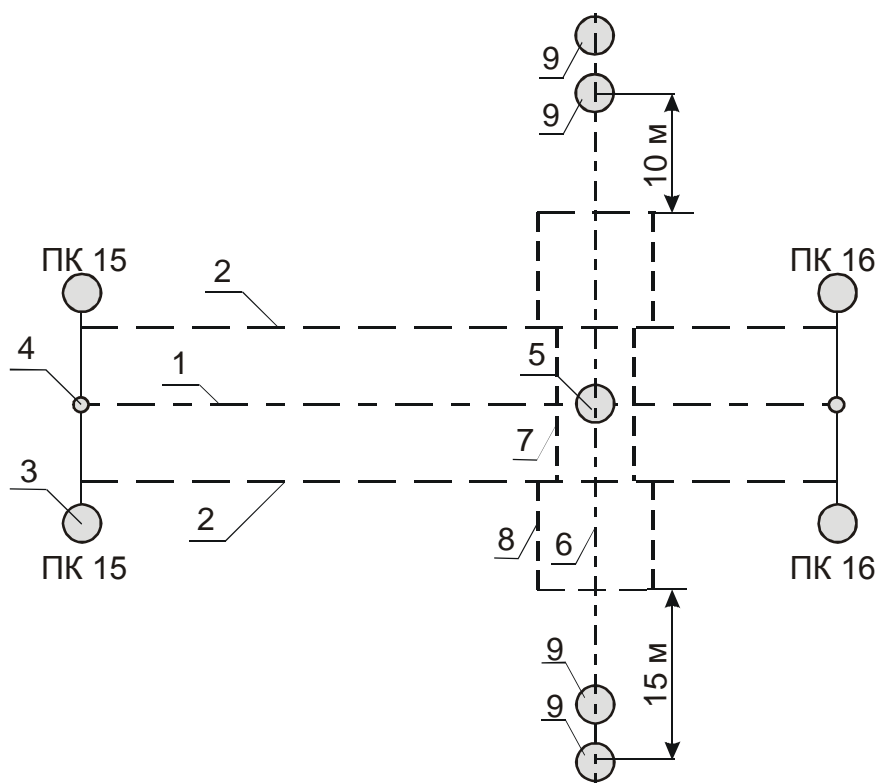


Рис. 22. Схема закрепления оси водопропускной трубы:  
1–5 – обозначения, поясненные на рис. 21; 6 – продольная ось трубы; 7 – границы траншеи под фундамент звеньев трубы; 8 – границы котлованов под оголовки; 9 – деревянные столбы, служащие для фиксации оси трубы

Знаки геодезической основы (закрепленные столбы и высотные реперы) устанавливают так, чтобы были обеспечены их сохранность и полная неизменяемость на все время постройки трубы до сдачи в эксплуатацию.

В процессе строительства трубы выполняют следующие геодезические работы: проверку положения оси трубы; разбивку и проверку по ходу работ положения контура котлована под оголовки и секции или звенья трубы, а также определение отметок дна котлована; разбивку и проверку по ходу работ положения в плане и по высоте кладки фундаментов с учетом приданного строительного подъема; проверку положения в плане и профиле установленных звеньев или секций труб; разбивку подводящего и отводящего участков русла трубы.



## 2.2. Строительство подъездных дорог и организация движения построечного транспорта

После закрепления на местности всех временных сооружений необходимо построить подъездные, с тем чтобы к началу строительства трубы осуществить доставку машин, механизмов, оборудования и бытовых помещений, а также монтаж оборудования и бытовок.

Строительство подъезда к трубе целесообразно выполнять одновременно со строительством землевозной дороги, предназначенной для транспортирования грунта, из которого будет отсыпаться насыпь земляного полотна строящейся дороги.

Строительству подъездов к трубам необходимо уделять должное внимание, так как от правильности принятых при их устройстве решений зависит дальнейшее удобство и темпы работ. В зависимости от организации строительства трубы и насыпи земляного полотна относительно друг друга подъезды устраивают по одной из двух схем [14].

Первая схема применяется при наиболее предпочтительной организации строительства, при которой вначале отстраивается труба с выполнением ее засыпки грунтом и производством всех отделочных и укрепительных работ, а затем происходит строительство насыпи земляного полотна [14]. В этом случае в соответствии с определенными правилами возводимая насыпь земляного полотна сопрягается с грунтовой призмой трубы. При такой организации строительства подъезды к трубе прокладывают от временной землевозной дороги к строительной площадке. Подъезд располагают вне территории, отведенной под водозащитные сооружения, места стоянок машин и склады материалов. Доступ к складам автомобилей самосвалов обеспечивают путем площадок маневрирования.

Вторая схема расположения подъездов к трубе и организации движения по ним применяется при строительстве труб в прогалах насыпей земляного полотна. Прогал представляет собой временный разрыв в насыпи, предназначенный для строительства трубы. При устройстве грунтовой призмы трубы прогал засыпается грунтом в соответствии с правилами строительства земляного полотна в насыпи. Размеры прогала должны обеспечивать удобную постройку трубы на всех этапах строительства.

Земляное полотно на границе прогала выполняется в нулевых отметках, а далее в насыпи. Высота насыпи по мере удаления от про-





гала увеличивается и на определенном расстоянии выходит в рабочие отметки насыпи. Таким образом, насыпь вблизи прогала имеет уклон, крутизна которого не должна превышать заложения 1:5. Такое заложение откоса позволяет обеспечить его общую и местную устойчивость, а в дальнейшем осуществить надежное сопряжение насыпи полотна и грунтовой призмы трубы, осуществив качественное уплотнение грунтов в призме.

Вследствие того, что пространство в прогале ограничено и относительно мало, устройство складов материалов избегают. Доставку материалов и изделий осуществляют непосредственно перед строительством конструктивного элемента из этого материала и монтажом изделий.

### 2.3. Транспортные работы и строительство сооружений поверхностного водоотвода

После устройства подъездов к трубе необходимо обеспечить объект строительства дорожно-строительными машинами, а также выполнить доставку и монтаж конструкций, обеспечивающих быт рабочих на период строительства.



Рис. 23. Вагон-бытовка

Для этого строительный участок оборудуют вагонами-бытовками. На рис. 23 представлен один из вариантов такого бытового помещения.

При строительстве водопропускных труб применяются бульдозеры, экскаваторы, вибрационные трамбовки, автомобильные краны, катки. Всю технику, входя-

щую в звено, необходимо доставить на строительную площадку до начала производства основных работ. Доставка строительной техники седельными тягачами приведена на рис. 24 и 25.





Рис. 24. Транспортировка бульдозера



Рис. 25. Транспортировка экскаватора

Завершив доставку техники и монтаж бытовок, приступают к отрывке канавы, предназначенной для перехвата ливневых вод. Канавка устраивается с верховой стороны площадки, т. е. у входного оголовка. Конструкция канавы подобна нагорной канаве. Минимальное расстояние между контурами котлована и канавы составляет 1,5 м. В качестве дополнительного мероприятия по защите котлована от затопления ливневыми и паводковыми водами предусматривают обваловывание канавы грунтом. Между котлованом входного оголовка и канавой можно расположить бурт растительного грунта. В этом случае расстояние между внешним контуром котлована и внутренней кромкой бурта принимают не менее 1,5 м. Размеры бурта в плане и по высоте зависят от объема растительного грунта, подлежащего срезке, и показателей физико-механических свойств грунта.

Расстояние от внешнего края бурта до контура водоотводной канавы принимается не менее 1,5 м. На случай возможного затопления канаву необходимо снабдить гидравлическим насосом со шлангами, длина которых позволяет осуществить перекачку воды за пределы выходного оголовка, т. е. ниже строительной площадки. В период откачки воды работы по сооружению трубы приостанавливают и возобновляют только после осушения канавы. В некоторых случаях в зоне строительства обнаруживаются водяные ключи и родники. Они могут появляться в процессе отрывки котлована. Все эти ключи и родники, имеющие выход в котлован и на территорию строительства, должны быть надежно заглушены или отведены в сторону на расстояние, обеспечивающее невозможность затопления котлованов и строительной площадки.



## 2.4. Подготовка строительной площадки. Срезка растительного грунта, планировка территории

Выполнив сооружение водоотводной канавы и водозащитного вала из грунта, вынутого при разработке канавы, приступают к срезке растительного грунта. Срезку растительного грунта выполняют бульдозером. При этом бульдозер выполняет две операции: разработку и перемещение грунта. Растительный грунт складывается в бург.

Все грунты классифицируются по группе трудности их разработки той или иной землеройной машиной [15]. Одна и та же разновидность грунта для различных машин может иметь разные группы трудности по разработке. Более того, в зависимости от влажности и плотности грунта одной и той же разновидности, наличия в нем посторонних включений группы трудности могут изменяться и для одной и той же машины. Например, растительный грунт относится к грунтам первой (I) группы по трудности разработки бульдозером в том случае, если в нем отсутствуют корни деревьев и кустарника. Если в растительном грунте имеются корни кустарника и деревьев, то трудность его разработки возрастает, и такой грунт относят уже ко второй (II) группе по трудности разработки бульдозером. В табл. 1 приведены группы трудности разработки растительного грунта различными землеройными машинами.

Таблица 1

**Группы трудности разработки намёрзлого растительного грунта землеройными машинами**

Наименование и характеристика грунта	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Разработка грунта			
		одноковшовым экскаватором	скрепером	бульдозером	грейдером
Грунт растительный без корней и примесей	1 200	I	I	I	I
С корнями кустарника и деревьев	1 200	I	I	II	Не производится
С примесью щебня	1 400	I	I	II	Не производится





Группа трудности грунта по разработке обуславливает сопротивление этого грунта резанию. Поэтому зарезание грунтов различных групп трудности производят по различным схемам. Например, если растительный грунт имеет небольшую толщину и относится к грунтам I группы по трудности разработки бульдозером, а бульдозер обладает достаточной мощностью, то зарезание грунта производят на полную глубину по всей длине участка, в пределах которого происходит наполнение отвала бульдозера. Такая схема зарезания называется прямоугольной. Название схем происходит от формы срезаемой стружки грунта. Прямоугольная схема зарезания применяется и при разработке наиболее трудных грунтов, относящихся к IV группе. Однако в этом случае отвал бульдозера заглубляется в грунт не на всю высоту, а длина участка, в пределах которого отвал наполняется грунтом, существенно увеличивается. Это приводит к резкому снижению производительности бульдозера. В случае если мощности бульдозера не хватает для того, чтобы преодолевать сопротивление грунта, производя его зарезание на полную глубину по всей длине участка, отвал по мере движения бульдозера вперед приподнимают. При этом стружка срезаемого грунта имеет форму клина, а схема зарезания называется клиновой. Клиновая схема зарезания грунта применяется при разработке грунтов II группы по трудности разработки.

Схема зарезания грунта обуславливается его группой трудности по разработке и мощностью бульдозера. Причем во всех случаях бульдозер необходимо подбирать так, чтобы его мощность соответствовала группе трудности грунта. В этом случае мы исключаем влияние фактора мощности бульдозера на схему зарезания грунта. Трудность грунтов по разработке можно уменьшить, выполнив дополнительные технологические операции. Например, сухие грунты и грунты, имеющие посторонние включения, можно разрыхлить рыхлителем непосредственно перед разработкой грунта.

Переувлажненные грунты, в которых возникает налипание грунта к ножу и режущей кромке землеройных машин, можно осушить при помощи строительства систем поверхностного и глубинного водоотвода. Например, если технико-экономические показатели повышаются при выполнении операций, направленных на уменьшение трудности разработки грунтов, то эти дополнительные работы оправданы с позиций экономики и трудоемкости. В противном случае дополнительные операции производить нецелесообразно.



На рис. 26 приведены схемы зарезания растительного грунта бульдозером.

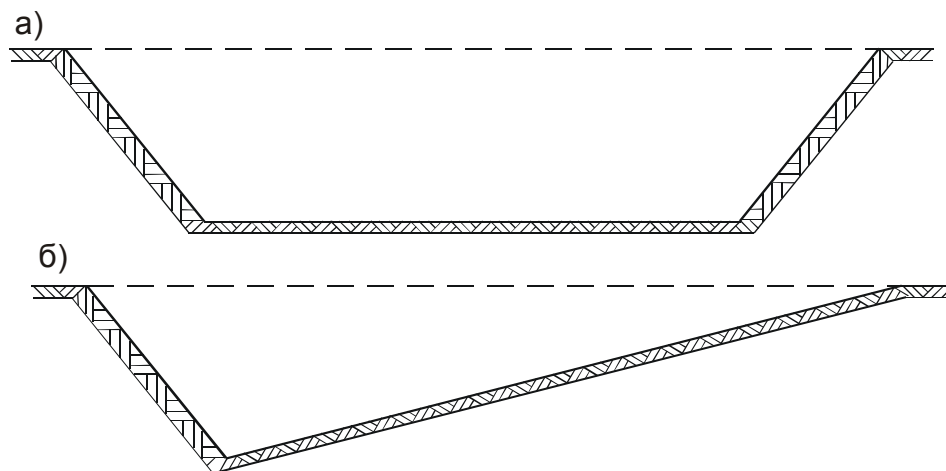


Рис. 26. Схемы зарезания растительного грунта  
I и II групп трудности бульдозером:  
*а* – прямоугольная; *б* – клиновая

Поверхность площадки в зоне строительства планируют бульдозером с приданием уклонов, обеспечивающих сток воды от трубы.

## 2.5. Склады и правила хранения материалов и изделий

После расчистки строительной площадки от растительного грунта и завершения поверхностного водоотвода необходимо выполнять предусмотренные проектом транспортные работы по завозу материалов и изделий (рис. 27). Параллельно транспортным работам на строительной площадке выполняют разгрузочные работы и складирование материалов и изделий.

Грузы, перевозимые навалом, песок, гравий, щебень и их смеси выгружает самосвал непосредственно в котлован или временный склад, называемый штабелем. Штабель представляет собой склад материалов требуемых размеров, которые необходимы для производства работ.

На рис. 28 приведен пример штабеля (склада) щебня.

Для обеспечения наиболее компактного расположения материала в штабеле его периодически поправляют бульдозером или погрузчиком.





Рис. 27. Транспортировка щебня



Рис. 28. Штабель (склад) щебня

При перевозке элементов труб и оголовков, а также монолитных фундаментов должно быть обеспечено их устойчивое положение на транспортных средствах. Погрузку и разгрузку элементов следует осуществлять при помощи кранов с применением захватных приспособлений. При наличии у элементов строповочных петель строповка должна производиться за все петли. При этом если вес блока превышает 2 т, то перемещать этот блок, зацепив крюки непосредственно за петли, запрещается. Нарушение этого правила может привести к несчастным случаям и даже гибели людей. Для перемещения таких массивных блоков надлежит применять стальные тросы и другие устройства.

Для строповки круглых труб применяют различные способы. Выбор способа строповки зависит от размеров и массы трубы.

Для строповки труб наиболее часто применяются канатные стропы. Такие стропы изготавливают в одном из двух исполнений строп: петлевой или кольцевой. Строп канатный петлевой (СКП) представляет собой самый распространенный тип канатных стальных строп. Эти стропы иногда еще называют чалка или удавка (рис. 29). Они предназначены для непосредственного контакта с грузом и крановым крюком. Данные стропы производятся как из обычного, так и из оцинкованного каната. На рис. 29 приведены строповки труб длиной до 1,5 м. При большей длине трубы и при соотношении длины к диаметру более 5 трубу следует обвязывать с двух концов. Схемы двухконцевых строповок приведены на рис. 30 – 32.



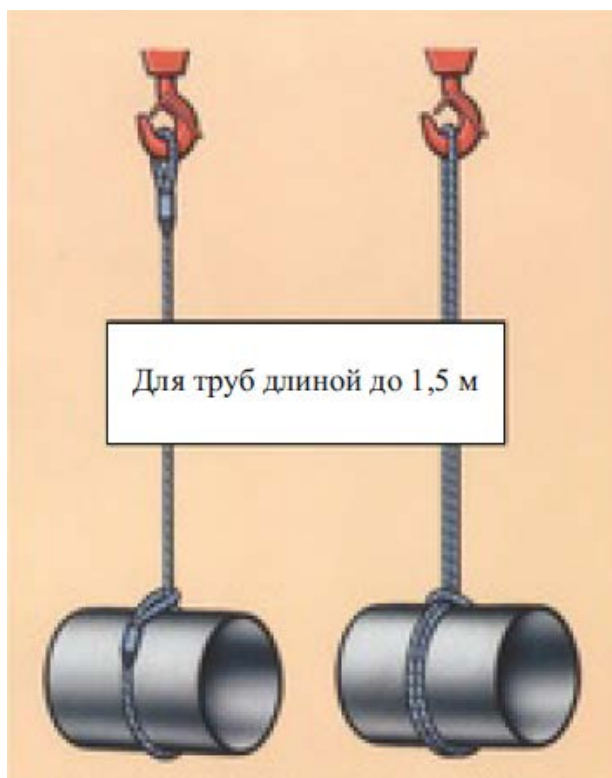


Рис. 29. Универсальная кольцевая или петлевая стропа (удавка)



Рис. 30. Два кольцевых стропа обкручивания



Рис. 31. Универсальная кольцевая стропа (двухконцевая удавка)



Рис. 32. Два кольцевых стропа двойной удавки





Кроме стропов канатных для перемещения труб применяются различные приспособления – захваты (рис. 33, 34).

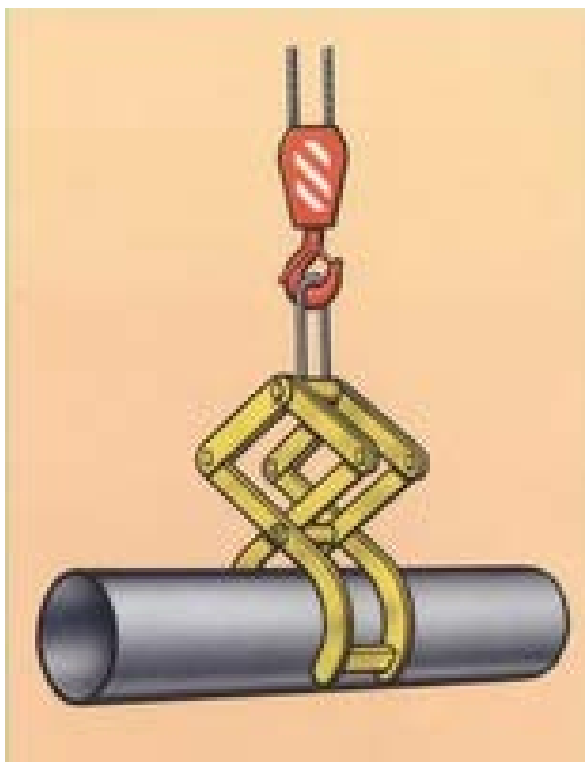


Рис. 33. Клещевой захват

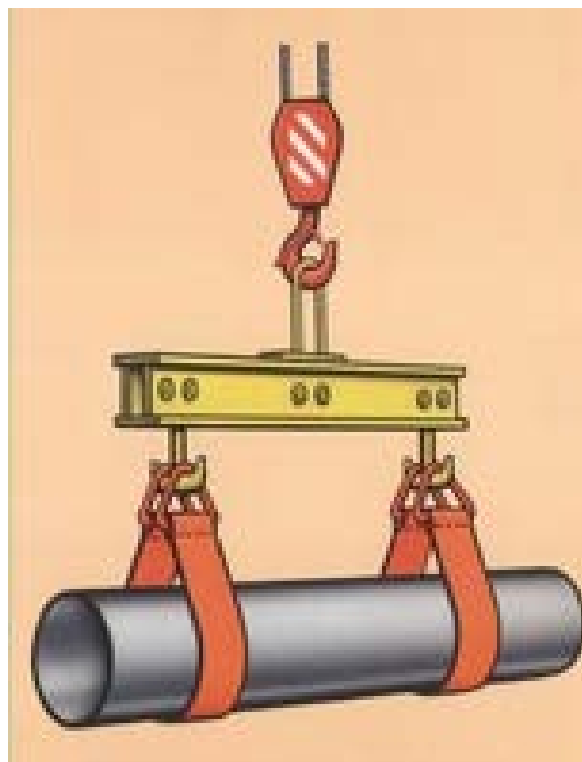


Рис. 34. Траверса с текстильными стропами

Из анализа представленных схем строповки труб следует, что перемещение звеньев водопропускных труб автомобильным краном можно выполнять строповками «на удавку». Этот тип строповки применим и при перемещении различных плит.

Обвязка «на удавку» предполагает формирование петли вокруг груза. Такую петлю формируют, пропуская один конец стропа через другой или используя специальные крюки. При подъеме петля затягивается под собственным весом груза и обеспечивает его поджатие со всех сторон. Данный способ строповки возможно использовать при работе со всеми видами строп – канатными, цепными, текстильными и круглопрядными.

Строповка «на удавку» выполняется как при подъеме грузов по отдельности, так и в связке. Это могут быть трубы, плиты, балки или сваи и т.д. При наличии у груза острых кромок необходимо применять специальные проставки, исключающие повреждение граней груза.



На рис. 35 показано расположение проставок при строповке прямоугольных плит.



Рис. 35. Схемы строповки прямоугольной плиты «на удавку» и расположения проставок

Для удобства формирования петли в качестве нижнего концевого элемента стропа устанавливают специальные крюки: чекерный для канатных, с широким зевом для цепных, с плоской площадкой для текстильных. Этот способ удобен тем, что нет необходимости формировать петлю заранее.

Существуют некоторые особенности при обвязке грузов разными видами строп. Для текстильных строп «на удавку» используется крюк с плоской площадкой опоры, это необходимо, чтобы лента равномерно ложилась в зев крюка без перекруток. Это позволяет равномерно распределить нагрузку на строп по всей ширине и снижает риск повреждения ленты.

Для транспортирования звеньев железобетонных труб и секций МГТ, состоящих из пяти звеньев, применяют седельные тягачи (рис. 36). Доставка длинных секций металлических труб требует применения специальных машин – «трубовозов». Для перевозки фундаментов могут быть применены различные машины, в том числе кран-манипулятор (рис. 37).





Рис. 36. Транспортирование звеньев седельным тягачом



Рис. 37. Транспортирование плит краном-манипулятором

При разгрузке фундаментов, звеньев и элементов оголовков труб запрещается сбрасывать их с автомашин. Для более полного использования крана при разгрузке элементов на стройплощадке рекомендуется завозить их соответствующим количеством автомашин.

При необходимости разрешается перекачивать круглые звенья только по горизонтальной поверхности с соблюдением соответствующих требований по технике безопасности.

Размещение элементов трубы и их хранение необходимо осуществлять в зоне действия монтажного крана. Если условия местности позволяют, то элементы следует складировать вдоль котлована трубы. При этом оставляется берма шириной не менее 4 м для проезда крана.

При организации хранения элементов водопропускных труб необходимо следовать указаниям ГОСТ 13015-2003 [16].

На строительной площадке звенья и другие элементы водопропускных труб должны храниться в вертикальном или горизонтальном положении, рассортированными в штабеля по партиям, типоразмерам, маркам. При этом следует обеспечить возможность захвата каждого звена краном и свободный подъем для погрузки на транспортное средство.

Каждое звено следует укладывать на деревянные прокладки прямоугольного сечения длиной не менее диаметра (ширины) звена и толщиной не менее 100 мм.

При хранении труб звеньев круглых железобетонных труб в штабелях в зависимости от их диаметра ограничивается число ярусов по высоте и количество звеньев в одном ряду. Такие требования приведены в табл. 2.



Таблица 2

**Требования, предъявляемые при хранении труб в штабеле**

Диаметр звена трубы, мм	Количество звеньев в ряду	Число ярусов по высоте
500	6	4
700	5	4
900	4	3
1 000	4	3
1 200	3	3

На рис. 38 и 39 приведены иллюстрации хранения элементов железобетонной водопропускной трубы.



Рис. 38. Хранение элементов на строительной площадке



Рис. 39. Хранение звеньев в штабеле на ЗЖБИ

Металлоконструкции, предназначенные для изготовления звеньев и секций металлических гофрированных труб, доставляют с завода на притрассовое производственное предприятие (полигон) без промежуточных перегрузок. На полигонах организуются площадки для складирования элементов, сборки секций труб, дополнительного защитного покрытия и устройства лотков, с которых конструкции доставляют на строительные площадки.

При перевозке металлоконструкций с полигона на строительную площадку необходимо принимать меры против повреждения цинкового и дополнительного покрытий для предотвращения деформации элементов. Подъем элементов или пакетов со строповкой за отверстия запрещается. Запрещается сбрасывать элементы или пакеты из них и секции труб с транспортных средств. Звенья труб разрешается перекатывать по горизонтальной площадке.





При погрузке на транспортные средства элементов и секций труб с нанесенным дополнительным защитным покрытием их следует укладывать на опорные брусья с прибитыми к ним жгутами дорнита или прослойками, покрытыми разделительными из битуминированной бумаги. Все элементы трубы необходимо перевезти на объект до начала монтажа трубы с размещением их в зоне действия монтажного крана. Если условия местности позволяют, то элементы следует складировать вдоль котлована трубы. При этом оставляется берма шириной не менее 4 м для проезда крана.

### Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите, какие работы включают в себя подготовительные.
2. Какие геодезические работы выполняют в процессе строительства водопропускной трубы?
3. В какой последовательности необходимо выполнить закрепление оси водопропускной трубы?
4. Что такое «прогал»?
5. Как организуется подъезд к трубам при их строительстве?
6. Как классифицируют грунты по группе трудности их разработки в соответствии с землеройной машиной?
7. Какие схемы зарезания растительного грунта бульдозером вы знаете?
8. Какие виды строповки применяют для перемещения труб?
9. Какие машины применяются для погрузки, перевозки, разгрузки труб и их звеньев?
10. Как организуют транспортировку и хранение элементов водопропускных труб?

### 3. УСТРОЙСТВО КОТЛОВАНОВ ПОД ФУНДАМЕНТЫ ОГОЛОВКОВ И ЗВЕНЬЕВ ТРУБЫ

После выполнения всего объема подготовительных работ надлежит приступить к устройству котлованов под оголовки и траншеи под тело трубы. Для разработки грунта при устройстве котлована обычно применяют бульдозеры и экскаваторы. На рис. 40 и 41 показаны бульдозер ДЗ-171 и экскаватор ЭО-4225А-07.





Рис. 40. Общий вид  
бульдозера ДЗ-171



Рис. 41. Общий вид экскаватора  
ЭО-4225А-07 (ковш обратная лопата  
 $V = 0,65 - 1,42 \text{ м}^3$ )

При комплектовании специализированного отряда предпочтение следует отдавать экскаваторам со сравнительно малой емкостью ковша. Это обуславливается двумя причинами. Во-первых, устройство котлована сопряжено с выполнением сравнительно небольших объемов работ по разработке грунта. Вследствие этого необходимости в производстве работ экскаватором с высокой производительностью не возникает. Во-вторых, в отличие от котлованов под оголовки траншея под тело трубы имеет сравнительно небольшую глубину, зачастую до 40 см. Применение для устройства таких траншей экскаваторов с большой ёмкостью ковша может привести к перебору грунта.



Рис. 42. Экскаватор-бульдозер  
ЧЗКМ ЭО-2621 (ЮМЗ)

В связи с отсутствием необходимости в применении землеройных машин высокой производительности бульдозер и экскаватор могут устанавливаться на одном тракторе. В этом случае землеройную машину называют экскаватор-бульдозер. Для примера на рис. 42 представлен общий вид экскаватора-бульдозера ЧЗКМ ЭО-2621 (ЮМЗ).



Разработку грунта при устройстве котлована ведут в направлении от выходного оголовка к входному [17].

При раструбных оголовках дно котлована под фундамент оголовков и под откосные крылья устраивают на одном уровне [17]. Разработку траншеи под тело трубы ведут бульдозером, перемещая грунт за пределы строительной площадки. Котлован разрабатывают с недобором до проектной отметки на 10 см.

В районах с равнинным характером местности наиболее рациональной схемой зарезания грунта II группы природной влажности является клиновая схема (см. рис. 26, б) [17]. В этом случае отвал заглубляют в грунт на 25 – 30 см в зависимости от свойств и его состояния. Затем при движении бульдозера вперед отвал приподнимается. Благодаря этому срезаемая стружка грунта имеет переменную толщину.

Таким образом, устройство траншеи под тело трубы бульдозером включает в себя две основные операции: разработку грунта и его перемещения за пределы строительной площадки. Эти операции показаны на рис. 43 и 44.



Рис. 43. Разработка грунта бульдозером



Рис. 44. Перемещение грунта бульдозером

Рабочий цикл бульдозера при разработке и перемещении грунта включает в себя последовательное выполнение нескольких операций:

- машинист приводит бульдозер в рабочее положение и подъезжает к выходному оголовку;
- зарезание грунта по клиновой схеме;
- перемещение за пределы входного оголовка;
- переключение скорости на четвертую передачу;
- возвращение задним ходом к выходному оголовку.

Рабочие циклы повторяются необходимое число раз. В соответ-





ствии с КТП-1-2002 [17] продолжительность рабочего цикла бульдозера составляет 3,6 мин. Причем на переключение передач машинист затрачивает 0,5 мин; 2,3 мин занимают разработка и перемещение грунта; 1 мин необходимо затратить на холостой ход.

Котлован под оголовки разрабатывают экскаватором, оборудованным обратной лопатой с ковшем емкостью 0,3 м [17]. Грунт перемещают экскаватором в отвал на расстояние не менее 0,5 м от бровки котлована и затем бульдозером за пределы строительной площадки на расстояние до 50 м [17].

Варианты разработки грунта экскаватором приведены на рис. 45 и 46.



Рис. 45. Разработка грунта экскаватором, оборудованным обратной лопатой (боковой забой)



Рис. 46. Разработка грунта экскаватором, оборудованным обратной лопатой (торцевой забой)

Забоем называют рабочее место экскаватора, т. е. место, где он разрабатывает грунт. Геометрические размеры и форма забоя зависят от оборудования экскаватора и его параметров, размеров выемки, видов транспорта и принятой схемы разработки грунта. Применение рациональных приемов работы в правильно выбранном забое обеспечивает максимальную эффективность применяемого оборудования и высокую производительность при минимальной себестоимости землеройных работ. Всего по схеме работы экскаватора различают три забоя: боковой, торцевой и лобовой.

Способ разработки грунта боковым забоем применяется при использовании экскаваторов как с обратной, так и с прямой лопатой. В этом случае грунт разрабатывается только по одну сторону от оси движения экскаватора.





Разработка грунта торцевым забоем применяется при использовании экскаваторов с обратной лопатой. При таком способе разработки грунта экскаватор движется по оси отрываемой им траншеи или котлована. Грунт разрабатывается попеременно то с одной, то с другой стороны от оси проходки.

Способ лобового забоя применим при использовании экскаватора с прямой лопатой. В лобовом забое экскаватор разрабатывает грунт впереди себя. При устройстве траншеи и котлованов под фундамент трубы-экскаваторы, оборудованные прямой лопатой, не применяются. Поэтому надобности в применении способа разработки грунта лобовым забоем не возникает.

Механизированную разработку грунта экскаватором выполняют с недобором грунта на 10–20 см до проектной отметки. Недобирать грунт в котловане более чем на 20 см запрещается, перебор грунта в котловане тоже не допускается. Если по каким-либо причинам произошел перебор, то на дно котлована или траншеи производят подсыпку песка, разравнивая его в слой и уплотняя до коэффициента уплотнения 0,95. После уплотнения отметка поверхности песчаного слоя должна соответствовать проектной отметке дна котлована.

Для этого после разравнивания песка должен получаться слой определенной толщины. Толщину песчаного слоя после разравнивания можно определить по формуле

$$h = h_n \cdot k_{o,y} \cdot k_p, \quad (1)$$

где  $h_n$  – величина перебора, см;  $k_{o,y}$  – коэффициент относительного уплотнения, зависящий от разновидности грунта и требуемой величины коэффициента уплотнения;  $k_p$  – коэффициент разрыхления грунта при его разработке (для песка  $k_p=1,11–1,17$ ).

Коэффициент относительного уплотнения грунта – отношение плотности скелета грунта в земляном сооружении  $\rho_d$  к плотности скелета того же грунта в условиях естественного залегания  $\rho_{de}$ . Значения коэффициента уплотнения регламентируются табл. В14 СП 34.13330.2011 [18] и зависят от требуемой величины коэффициента уплотнения и разновидности грунта. Значения коэффициентов относительного уплотнения приведены в табл. 3.



Значения коэффициентов относительного уплотнения

Требуемый коэффициент уплотнения	Значение коэффициентов относительного уплотнения $k_{o,y}$ для грунтов						Шлаки, отвалы перерабатывающей промышленности
	Пески, супеси, суглинки пылеватые	Суглинки, глины	Лёссы и лёссовидные грунты	Скальные разрабатываемые грунты при объемной массе, г/см <sup>3</sup>			
				1,9-2,2	2,4-2,4	2,4-2,7	
1,00	1,10	1,05	1,30	0,95	0,89	0,84	1,26-1,47
0,95	1,05	1,00	1,15	0,90	0,85	0,80	1,20-1,40
0,90	1,00	0,95	1,10	0,85	0,80	0,76	1,13-1,33

В соответствии с определением величина коэффициента относительного уплотнения определяется по формуле

$$k_{o,y} = \frac{\rho_d}{\rho_{de}}. \quad (2)$$

Коэффициент уплотнения грунта представляет собой отношение фактической плотности сухого грунта в конструкции к максимальной плотности того же сухого грунта, определяемой в лаборатории при испытании методом стандартного уплотнения. Испытания методом стандартного уплотнения регламентируются ГОСТ 22733-2002 [19]. Такие испытания являются некоторой модификацией оригинального и модифицированного методов Р. Проктора, применяемых для оценки максимальной стандартной плотности грунтов за рубежом. Испытания по методам Проктора регламентируются стандартами [48, 50].

Требуемые значения коэффициента уплотнения регламентируются табл. 3.7 СП 34.13330.2011 [18] и приводятся в табл. 4.

Коэффициент разрыхления показывает, насколько увеличивается объем грунта при разработке по сравнению с объемом его в естественном плотном состоянии. Иногда оперируют обратно пропорциональной величиной, называемой коэффициентом начального уплотнения. Величина этих коэффициентов зависит от землеройной машины, применяемой для разработки грунта. Значения коэффициентов приведены в табл. 5.



Таблица 4

**Требуемые (наименьшие) значения коэффициента уплотнения грунта**

Элементы земляного полотна	Глубина расположения слоя от поверхности покрытия, м	Наименьший коэффициент уплотнения грунта при типе дорожных одежд					
		капитальном			облегченном и переходном		
		в дорожно-климатических зонах					
		I	II, III	IV, V	I	II, III	IV, V
Рабочий слой	До 1,5	0,98–0,96	1,0–0,98	0,98–0,95	0,95–0,93	0,98–0,95	0,95
Неподтопляемая часть насыпи	Св. 1,5 до 6	0,95–0,93	0,95	0,95	0,93	0,95	0,90
	Св. 6	0,95	0,98	0,95	0,93	0,95	0,90
Подтопляемая часть насыпи	Св. 1,5 до 6	0,96–0,95	0,98–0,95	0,95	0,95–0,93	0,95	0,95
	Св. 6	0,96	0,98	0,98	0,95	0,95	0,95
В рабочем слое выемки ниже зоны сезонного промерзания	До 1,2	–	0,95	–	–	0,95–0,92	–
	До 0,8	–	–	0,95–0,92	–	–	0,90

*Примечание.* Большие значения коэффициента уплотнения грунта следует принимать при цементобетонных покрытиях и цементогрунтовых основаниях, а также при дорожных одеждах облегченного типа, меньшие значения – во всех остальных случаях.

Таблица 5

**Коэффициенты разрыхления и начального уплотнения**

Наименование машины, выполняющей разработку грунта	Величина коэффициента	
	начального уплотнения	разрыхления
Грейдер-элеватор	0,785 – 0,80	1,25 – 1,27
Бульдозер	0,80 – 0,85	1,17 – 1,25
Экскаватор	0,85 – 0,90	1,11 – 1,17
Скрепер	0,90 – 0,92	1,09 – 1,11

При правильно выполненной механизированной разработке грунта величина его недобора до проектной отметки составляет 10 см. Доработка дна котлована выполняется вручную, рабочие зачищают стенки котлована. Руслу придается проектный уклон.

Следует отметить, что при разработке грунта экскаватором имеет место некоторое разрыхление нижней поверхности. Это обстоятельство облегчает дальнейшую доработку грунта вручную.





Рис. 47. Общий вид дна котлована при разработке грунта экскаватором

На рис. 47 представлен общий вид дна котлована после разработки грунта экскаватором.

После доработки грунта рабочими дно котлована уплотняется до требуемой степени уплотнения грунта. Для уплотнения дна котлованов и траншей применяют бензиновые или электрические трамбовки и виброплиты.



Рис. 48. Трамбовка



Рис. 49. Виброплита

Уплотнение грунта дна траншеи следует производить при допустимом значении коэффициента увлажнения.

Коэффициентом увлажнения называют отношение влажности грунта  $W_e$  к оптимальной влажности этого грунта  $W_o$ , определяемой в соответствии с требованиями ГОСТ 22733-2002 [19]. В соответствии с ГОСТ 22733-2002 [19] под оптимальной влажностью понимается значение влажности грунта, соответствующее максимальной плотности сухого грунта. Допускаемые значения коэффициентов увлажнения регламентируются табл. 1 СП 78.13330.2012 [20] и приведены в табл. 6.





**Допускаемые значения коэффициентов увлажнения**

Вид грунта	Влажность при требуемом коэффициенте уплотнения, доли $W_o$		
	1-0,98	0,95	0,90
Пески пылеватые, супеси легкие, крупные	Не более 1,35	Не более 1,6	Не нормируется
Супеси легкие и пылеватые	0,8 - 1,25	0,75 - 1,35	0,7 - 1,6
Супеси тяжелые пылеватые и суглинки легкие и легкие пылеватые	0,85 - 1,15	0,8 - 1,2	0,75 - 1,4
Суглинки тяжелые и тяжелые пылеватые, глины	0,95 - 1,05	0,9 - 1,1	0,85 - 1,2

Для обеспечения безопасной работы машин устанавливают требования к ширине бермы безопасности, углу и крутизне откоса котлована.

В процессе устройства котлованов должен быть установлен постоянный надзор за устойчивостью откоса насыпи, состоянием грунта, примыкающего снаружи к ограждениям, за состоянием ограждений и креплений котлована, за интенсивностью притока грунтовых вод и соблюдением правил техники безопасности. В котлованах шириной менее 4 м, устраиваемых в сухих и устойчивых грунтах при незначительном притоке грунтовых вод, для ограждения стенок могут быть применены закладные крепления из инвентарных щитов. Приближение кранов и других видов нагрузок к бровке котлована на расстояние ближе 1,5 м допускается при наличии надлежащих креплений стенок котлована и соответствующем проектном обосновании.

**Контрольные вопросы**

1. Как проводят разбивку контуров траншей и котлованов под фундаменты труб?
2. Какие машины используют при устройстве котлованов под фундаменты оголовков и звеньев труб?



3. Каким образом осуществляется доработка грунта в котловане до рабочей отметки?

4. Какие требуемые значения коэффициентов уплотнения грунта применяются при устройстве котлованов под фундаменты оголовков и звеньев труб?

#### 4. СТРОИТЕЛЬСТВО ФУНДАМЕНТОВ

В зависимости от высоты насыпи, типа грунтов основания, их несущей способности и уровня грунтовых вод тело трубы может опираться непосредственно на грунт или на специальные фундаменты [2].

Бесфундаментные трубы, укладываемые на спрофилированное ложе, применяют при крупнообломочных и плотных песчаных (кроме пылеватых) грунтах, твердых и глинистых полутвердых грунтах при высоте насыпи  $h_n \leq 7$  м для труб диаметром 1 м (рис. 50, а) [2].

Трубы диаметром 1 м, укладываемые на гравийно-песчаные подушки, можно применять при высоте насыпи до 7 м; диаметром 1,25 м – на скальных грунтах при насыпях высотой до 15 м (рис. 50, б) [2].

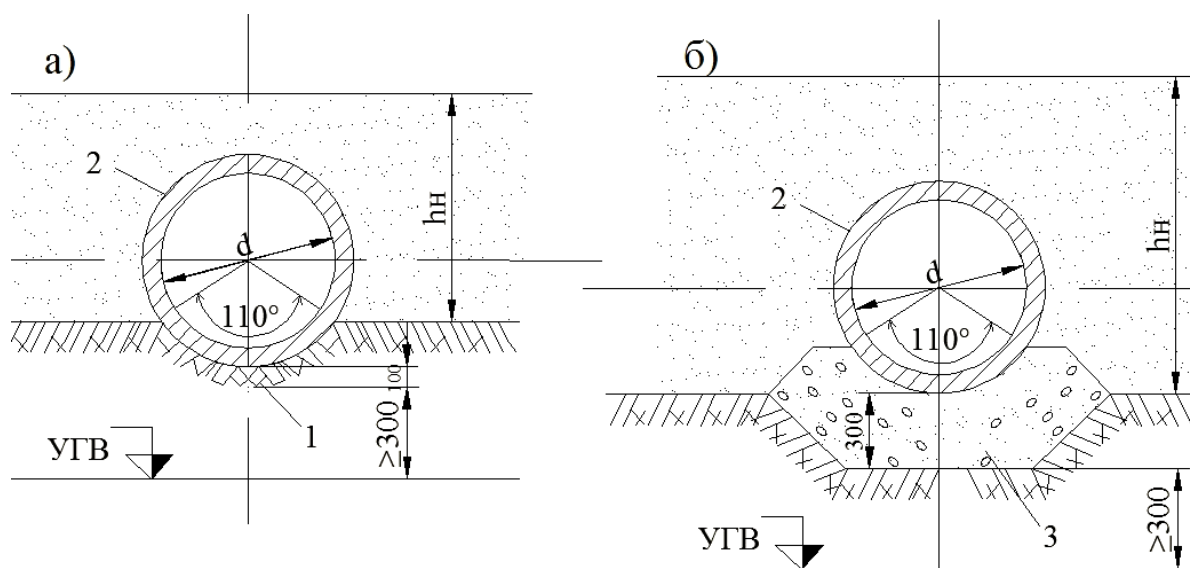


Рис. 50. Бесфундаментные трубы [2]:

а – труба на спрофилированном грунтовом ложе; б – труба на гравийно-песчаной подушке; 1 – гравий (щебень), втрамбованный в грунт; 2 – звено трубы; 3 – гравийно-песчаная подушка



При недостаточной несущей способности грунтов трубы диаметром 1 м и более укладывают на специальные фундаменты (рис. 51).

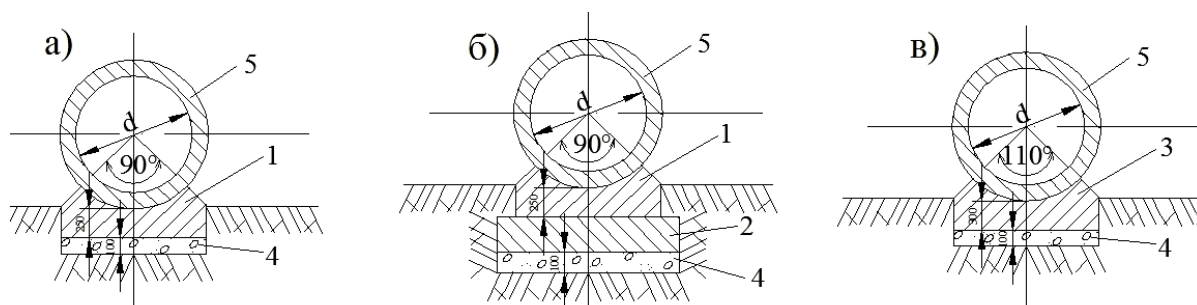


Рис. 51. Фундаментные трубы [2]:

*a* – с лекальным фундаментным блоком; *б* – с лекальным блоком и фундаментной плитой; *в* – с монолитным бетонным фундаментом;  
 1 – лекальный блок; 2 – монолитная или сборная плита; 3 – монолитный бетонный фундамент; 4 – щебеночная (гравийная) подготовка;  
 5 – обмазочная гидроизоляция

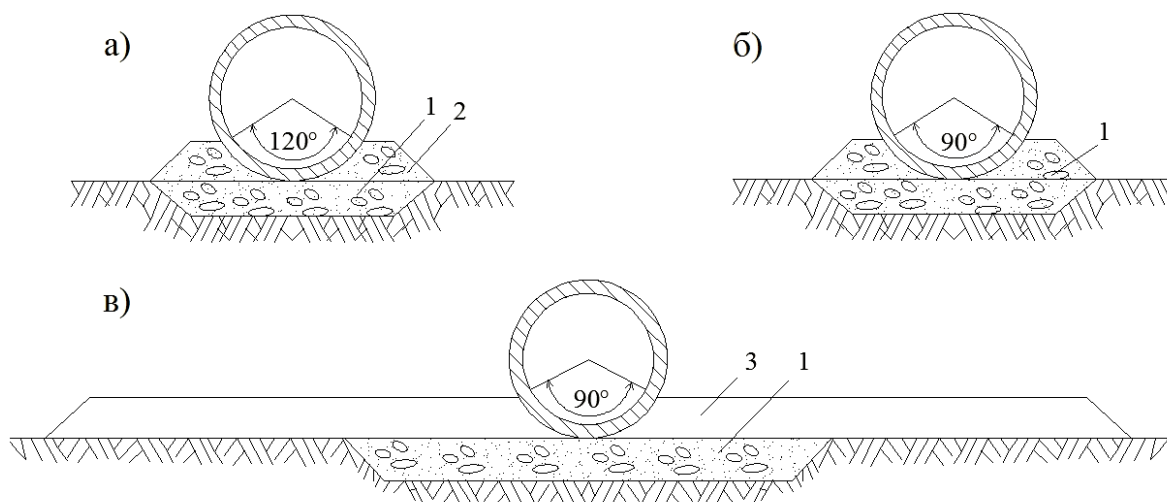


Рис. 52. Конструкция основания гофрированной трубы:

*a* – с устройством подушки за два этапа; *б* – с предварительным устройством ложа; *в* – с отсыпкой нулевого слоя и устройством ложа;  
 1 – часть подушки, отсыпанная до укладки трубы;  
 2 – то же после укладки трубы; 3 – нулевой слой

Металлические гофрированные трубы монтируют на гравийно-песчаные подушки или нулевой слой. Конструкции оснований МГТ приведены на рис. 52 [4].



#### 4.1. Строительство щебеночно-гравийно-песчаных подушек

К строительству фундаментов и щебеночно-гравийно-песчаных подушек приступают сразу же после сдачи котлована заказчику. Технология устройства фундаментов зависит от материала, из которого предусмотрено его выполнение. Основания бесфундаментных труб (см. рис. 50) представляют собой спрофилированное грунтовое основание, укрепленное втопленным в него щебнем, или щебеночно-гравийно-песчаную подушку, отсыпаемую из песка, щебня, гравия и их смесей. Такие подушки могут являться как самостоятельным фундаментом под оголовки и звенья трубы, так и подготовкой под монолитные и сборные бетонные и железобетонные фундаменты.

Основание трубы в виде спрофилированного ложа следует выполнять вручную, профильным ножом автогрейдера или профильным ковшом экскаватора. Затем необходимо выполнить распределение щебня слоем не менее 5 см с втапливанием щебня и укаткой грунтового основания катком [21].

Основание трубы в виде гравийно-песчаной подушки должно устраиваться после зачистки дна котлована путем распределения слоя песчано-гравийной смеси проектной толщины и последующего уплотнения слоя катками вибрационного действия или механическими трамбовками [21].

Под входными и выходными оголовками следует устраивать щебеночное основание по той же технологии, что и основание под тело трубы. Уплотнение основания под оголовками рекомендуется выполнять ручными трамбовками [21].

Подушки из щебня, гравия или песчано-гравийной смеси отсыпают технологическими слоями толщиной 10 – 20 см. Необходимость послойной отсыпки определяется уплотняющей способностью средств механизации, применяемых для уплотнения этих материалов.

Технология устройства подушки включает в себя:

- 1) разбивку площадки для устройства подготовки под трубу или фундамент;
- 2) подачу материала в котлован, которая может выполняться автомобилем-самосвалом или в бадье при помощи автомобильного крана;
- 3) приём материала рабочими в котловане;
- 4) разравнивание и планировку материала подготовки;
- 5) уплотнение материала подготовки.





Сравнивая нормы времени, регламентируемые ЕНиР 4-3 [22], можно сделать вывод, что более производительной является технология, предусматривающая подачу материала в котлован автомобилем-самосвалом. При этом необходимо рассчитать время, требуемое для доставки материалов. Автомобили-самосвалы должны доставить материал к началу строительства подушки.

При выполнении работ по этой технологии в состав бригады входят три дорожных рабочих [22, 23]. При разбивке дна котлована под подготовку дорожный рабочий (Д3) забивает колышки по контуру дна котлована [23]. Дорожные рабочие Д1 и Д2 закрепляют шнур на уровне высоты слоя [23]. Материал подготовки – песчано-гравийную смесь, щебень и т.п. – поочередно завозят автосамосвалами и разгружают непосредственно в котлован. При этом один из рабочих руководит выгрузкой материала, подавая сигналы водителю. После этого все рабочие Д1, Д2, Д3 распределяют песчано-гравийную смесь и щебень на толщину проектируемого слоя. После разравнивания песчано-гравийной смеси и щебня дорожные рабочие уплотняют подготовку электротрамбовкой и ручной трамбовкой. Иллюстрации этих операций приведены на рис. 53 и 54.



Рис. 53. Разравнивание и уплотнение материала подушки ручной трамбовкой



Рис. 54. Уплотнение материала подушки вибрационной плитой

После уплотнения материала дорожные рабочие Д1, Д2, Д3 окончательно планируют щебеночную подготовку под фундамент вручную с проверкой поверхности в продольном и поперечном направлении рейками [23].



## 4.2. Строительство фундаментов из монолитного бетона

При строительстве монолитного бетонного или железобетонного фундамента в первую очередь выполняют сборку опалубки, размеры которой должны строго соответствовать данным проекта. Опалубка собирается из деревянных досок и брусьев. Для предотвращения впитывания влаги из бетонной смеси досками опалубки необходимо предусмотреть специальные мероприятия. Например, деревянные поверхности, которые контактируют с бетонной смесью, можно до бетонирования обшить или обработать гидроизоляционным материалом. Сборку опалубки выполняют плотники. Завершив изготовление опалубки, приступают к выполнению работ по устройству фундамента из монолитного бетона или устройству армирования.

Далее выполняется доставка готовой бетонной смеси или её приготовление на месте. Как правило, к бетонам и бетонным смесям фундаментов выдвигаются высокие и строгие требования. Поэтому изготавливать бетонные смеси целесообразно на заводах, осуществляя их транспортирование на строительную площадку специальными машинами (бетоновозами). Бетоновозы снабжены кузовом ковшового или бункерного типа (рис. 55, 56).



Рис. 55. Бетоновоз с кузовом ковшового типа



Рис. 56. Бетоновоз с кузовом бункерного типа

Достоинство кузова ковшового типа состоит в том, что из-за формы, напоминающей ковш, разгрузка бетона производится быстрее. Некоторые такие кузова оборудованы мешалками. Бункерный ку-



зов имеет округлую форму и полностью закрыт, отверстие для разгрузки бетона находится сзади; так как бункер находится под наклоном к земле, смесь из него не выливается. Разгрузка бетона осуществляется с помощью поднятия платформы; таким образом, бетон из резервуара полностью вытекает.

После доставки бетонной смеси на строительную площадку производят ее укладку. Для выгрузки бетонной смеси из бетоновоза и ее загрузки в опалубку применяют инвентарные лотки (рис. 57). Укладка смеси производится рабочими. Укладку смеси ведут слоями на участках в направлении от выходного к входному оголовку трубы (рис. 58). В том случае если фундамент имеет сравнительно большую толщину, требующую послойного бетонирования, укладку вышележащего слоя бетона выполняют до начала схватывания смеси в нижнем слое. В противном случае устраивают технологический перерыв, что увеличивает продолжительность строительства.



Рис. 57. Применение лотков для загрузки бетона в опалубку



Рис. 58. Бетонирование фундамента трубы в направлении от выходного к входному оголовку

Завершив укладку бетонной смеси, приступают к ее уплотнению. Уплотнение бетонной смеси происходит по мере вытеснения из нее воздуха. При уплотнении бетон должен идеально заполнять место в опалубке и тесно примыкать к арматуре. Уплотнение бетона в фундаментах труб выполняют глубинными или поверхностными вибраторами (рис. 59, 60).







Рис. 59. Общий вид глубинного вибратора

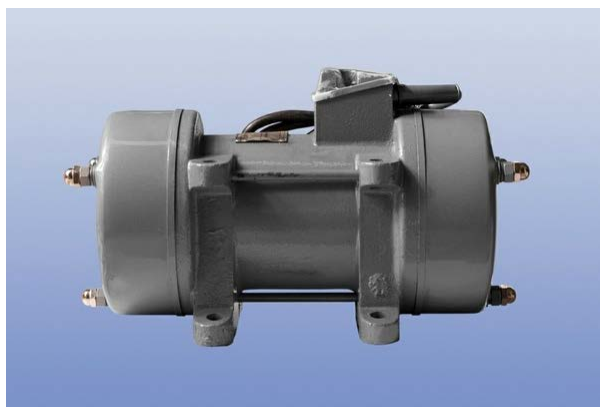


Рис. 60. Общий вид поверхностного вибратора (крепится к опорной плите)

Наиболее эффективными являются глубинные вибраторы, которые при уплотнении всю энергию передают непосредственно бетонной смеси. Они проще в обращении и, будучи переносными, могут использоваться в трудных условиях.

Глубинный вибратор следует устанавливать вертикально, погружая его наконечник в бетон. Вибратор погружается на всю глубину



Рис. 61. Уплотнение бетонной смеси глубинным вибратором

уложенного слоя бетонной смеси, при уплотнении бетонов, укладываемых технологическими слоями, наконечник погружают так, чтобы захватить и предыдущий слой на глубину 2–5 см. Выполнение такого требования позволяет хорошо проработать стык между слоями. Уплотняя бетонную смесь, вибратор выдерживают в одном месте от 5 до 40 с. О достаточности уплотнения судят по появляющимся вокруг вибратора пузырькам воздуха и цементному молоку, а также по из-

менению звука. При первых признаках появления цементного молока рабочую часть вибратора следует медленно вынуть из бетона. После этого вибратор переставляется на расстояние 45–75 см от прежнего места и производится новое вибрирование.

На рис. 61 представлено уплотнение бетонной смеси глубинным вибратором.





Глубинный вибратор не рекомендуется устанавливать к опалубке ближе, чем на 10 см. Соблюдение этого требования необходимо для получения гладкой бетонной поверхности после разбора опалубки. В случае касания вибратором опалубки около нее могут образовываться полосы песка.

Следует избегать слишком длительного вибрирования, так как это может привести к расслоению бетона. При уплотнении бетона в железобетонных фундаментах следует избегать касания наконечника вибратора стержней арматуры. В случае нарушения этого требования может нарушиться сцепление бетона с арматурой.

Поверхностный вибратор состоит из плоской горизонтальной плиты, на которой укреплен вибрационный механизм, сходный с показанным на рис. 60. Поверхностный вибратор применяют для уплотнения бетона в достаточно крупных массивах. Поверхностный вибратор может использоваться для окончательного выравнивания поверхности бетона после уплотнения его внутренними вибраторами.

При уплотнении широких бетонированных полос бетона используют виброрейку (рис. 62). Она в отличие от поверхностного вибратора имеет опорную площадку в виде бруса-рейки, на которой жестко закреплены два или несколько электродвигателей с дебалансами на валу (рис. 63).

Как правило, эффективная глубина вибрирования поверхностными вибраторами составляет, в зависимости от их типа, 20–30 см.



Рис. 62. Общий вид виброрейки MASALTA MCD-4



Рис. 63. Уплотнение бетонной смеси виброрейкой

Уложенный бетон должен быть выдержан в опалубке до набора 50–70 % проектной прочности при сжатии, а его поверхность необходимо предохранить от испарения. В этих целях за бетонной поверхностью производят уход.



Уход за бетоном заключается в устройстве технологического перерыва, в течение которого не допускают воздействие на бетон внешних нагрузок, и выполнении мероприятий, препятствующих испарению влаги. Бетон набирает прочность во времени, а скорость набора прочности зависит от температуры воздуха и влажности бетона. Расчет изменения прочности бетона во времени в первые 28 суток твердения производят при 20 °С по формуле

$$R_n = R_{28} \cdot \frac{\lg n}{\lg 28}, \quad (3)$$

где  $R_{28}$  – марочная прочность бетона, определяемая в возрасте 28 суток;  $n$  – количество дней, прошедших с момента начала твердения ( $3 \leq n \leq 28$ ).

Максимальная скорость набора прочности бетона имеет место в первые 7 дней от его укладки и начала твердения. За этот период времени бетон набирает от 60 до 70 % его марочной прочности, определяемой в возрасте 28 суток. В течение первых нескольких лет эксплуатации бетонной конструкции идет дальнейший набор прочности. Например, в возрасте 6 месяцев, 1 года и 2 лет изменение прочности бетона во времени достигает соответственно 150, 175 и 200 % марочных гарантированных показателей. В дальнейшем продолжается набор прочности, но теперь он будет идти всё медленнее.

Большое значение имеют температура и влажность, при которых бетон твердеет. В жарком климате твердение бетона ускоряется, а при понижении температур замедляется вплоть до полной остановки при замораживании бетона. Экзотермичность процесса схватывания обуславливает сокращение срока набора прочности бетона, но повышает риск высыхания. При очень низкой влажности бетон пересыхает и перестаёт твердеть. Например, при температуре 80 °С и атмосфере насыщенного пара прочность бетона достигает 60–70 % от марочной всего за 10–12 ч твердения.

В связи с этим для организации рационального ухода за бетоном необходимо знание графика набора прочности бетона при заданных условиях твердения.

Самым простым мероприятием по уменьшению интенсивности испарения влаги является поливка бетонной поверхности водой. Недостаток этого способа – достаточно быстрое испарение воды, поэтому для уменьшения расхода воды бетонную поверхность после увлажнения накрывают полиэтиленовой пленкой. Периодически пленку



снимают и производят розлив воды, по завершению которого поверхность снова укрывается той же самой пленкой. На рис. 64 и 65 приведены мероприятия по уходу за бетоном розливом воды и укрытием полиэтиленовой пленкой.

В целях уменьшения испарения воды по бетонной поверхности устраивают песчаный слой, который в процессе технологического перерыва периодически увлажняется. По завершении технологического перерыва бетонную поверхность очищают от песка.

Вместо песчаного слоя бетонная поверхность может быть обработана пленкообразующими веществами. К таким веществам относят битумную эмульсию, депрессор испарения влаги марки ДСШ, различные латексные композиции.



Рис. 64. Уход за бетоном розливом воды



Рис. 65. Уход за бетоном розливом воды и укрытием полиэтиленовой пленкой

Пленкообразующее вещество наносится на поверхность равномерно и без пропусков. Для нанесения депрессора ДСШ при небольших объемах работ, когда укладка бетона ведется средствами малой механизации, можно использовать садовые опрыскиватели, краскопульты или красконагнетательные бачки типа СО-12А, оснастив их ручными распределительными удочками [24]. Сжатый воздух для работы бачка можно получить от передвижного компрессора или от ресивера тормозной системы автомобиля ЗИЛ-130.



### 4.3. Монтаж сборных фундаментов

Перед монтажом сборных фундаментов проверяют уклон продольного профиля подготовки и производят осмотр всех сборных элементов для проверки их соответствия маркам, размерам, а также пригодности для укладки в сооружение. Допустимые отклонения в размерах блоков фундамента по высоте  $\pm 5$  мм, по остальным размерам  $\pm 10$  мм.

Для сооружения водопропускных труб и трубопроводов в качестве сборного фундамента железобетонных круглых звеньев используют лекальные блоки марок БЛ, Ф и ЛБ. Все эти элементы изготавливаются по типовым чертежам, имеющимся в типовых проектах. Геометрические характеристики фундаментных элементов отличаются большим многообразием. В табл. 7 приведены типовые размеры некоторых фундаментов.

Таблица 7

**Типовые размеры лекальных фундаментных блоков**

Марка	Геометрические размеры, мм			Масса, кг
	длина	ширина	высота	
БЛ 8а-10	1 600	1 000	520	1 390
БЛ 8а-20	1 600	2 000	520	2 780
Ф12.1	1 250	1 160	430	1 080
Ф20.1	2 000	1 160	430	1 810
Ф12.2	1 250	1 320	460	1 310
Ф20.2	2 000	1 320	460	2 190
ЛБ-10	1 300	2 250	400	1 817
ЛБ-15	1 780	1 430	500	1 886

Монтаж лекальных блоков выполняют после установки в проектное положение элементов выходного оголовка [25]. После монтажа и закрепления блоков выходного оголовка рабочие заполняют пространство за порталным оголовком песчано-гравийной смесью и устраивают песчано-гравийную подготовку толщиной 30 см под лоток трубы. Песчано-гравийную смесь укладывают слоями толщиной 15 см с уплотнением каждого слоя ручной или электротрамбовкой С-690 [25].

После завершения монтажа выходного оголовка звено рабочих приступает к монтажу лекальных блоков под тело трубы соответственно на второй и третьей стоянке автокрана [25]. В соответствии с





картой трудового процесса монтаж лекального блока состоит из пяти операций:

- 1) строповка элемента;
- 2) установка элемента с выверкой;
- 3) расстроповка элемента;
- 4) конопатка и заделка швов;
- 5) заливка вертикальных швов раствором.

Каждая из этих операций включает в себя приемы труда. При строповке лекального блока монтажник М4 подает сигнал машинисту крана М1 опустить строп над элементом [25]. Монтажники М4 и М5 заводят крюки стропа в монтажные петли. Для удержания элемента от раскачивания и наведения на место установки М4 и М5 привязывают две расчалки из пенькового каната длиной 6 – 8 м. М4 подает машинисту крана М1 команду натянуть строп, а машинист М1 поднимает элемент на 20 – 30 см. Убедившись в надежности строповки, М4 дает команду машинисту подать элемент для установки на подготовку [25].

Для установки и выверки лекального блока машинист крана М1 по сигналу монтажника приостанавливает спуск элемента на высоте 20 – 30 см от песчано-гравийной подготовки. М2, М3, М4, М5, стоя у места установки элемента, принимают его и направляют на место установки за оттяжки [25]. Машинист автокрана М1 плавно опускает элемент. М2 и М3 проверяют горизонтальность ряда [25].

Перед расстроповкой лекального блока монтажник М3 должен убедиться в правильности установки элемента, затем монтажник М3 подает команду машинисту М1 ослабить строп [25]. М2 расстроповывает блок, а машинист автокрана М1 отводит крюк со стропом. М3 и М2 отвязывают оттяжки и переносят их на место строповки звеньев [25].

Выполняя конопатку швов, монтажники М2, М3, М4 омоноличивают швы между лекальными блоками, вдавливая в них два слоя пакли, пропитанной битумом. Швы заделываются цементным раствором.

Заливка вертикальных швов раствором выполняется монтажниками М4 и М5 при помощи специальных конусных воронок, через которые заполняют вертикальные швы цементным раствором, а затем с помощью шуровок раствор в швах уплотняют.

Процесс монтажа лекальных блоков приведен на рис. 66.





Рис. 66. Монтаж лекальных блоков, выполняемый после установки и крепления элементов выходного раструбного оголовка

### Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение бесфундаментным трубам, укажите область их применения.
2. Приведите примеры конструкций фундаментов труб.
3. Опишите технологию устройства фундамента из монолитного бетона.
4. На какое основание укладывают гофрированную трубу?
5. Опишите технологию устройства щебеночно-гравийно-песчаной подушки.
6. Опишите технологию устройства фундамента из монолитного бетона.
7. Опишите технологию устройства сборных фундаментов.
8. Какие машины можно использовать при уплотнении бетонной смеси?
9. Какой уход требуется за бетонной поверхностью при уплотнении?



## 5. МОНТАЖ ОГОЛОВКОВ И ЗВЕНЬЕВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБ

Перед монтажом производят осмотр элементов оголовков и звеньев труб для оценки соответствия их геометрических размеров требованиям проекта. Допустимые отклонения от проектных размеров блоков оголовков по высоте  $\pm 5$  мм, по остальным размерам  $\pm 10$  мм, в размерах звеньев труб по толщине (В) стенок  $\pm 0,05В$ , но не более 10 мм, по длине звеньев и остальным размерам  $\pm 10$  мм.

### 5.1. Монтаж элементов оголовков

Монтировать бетонные и железобетонные трубы необходимо от выходного оголовка к входному оголовку.

Операции по устройству сборного оголовка выполняют в следующем порядке.

1. Производят подготовку блока порталной стенки к строповке.

При этом монтажник М1 производит наружный осмотр блока, при необходимости очищает блок с помощью скrapеля, кувалды и стальной щетки. Смачивает опорную поверхность водой [26]. Монтажники М2 и М3 проверяют, достаточны ли глубина и ширина котлована для установки порталного блока.

2. Строят блок порталной стенки.

Для удержания блока от раскачивания и наведения на место установки М1 привязывает к блоку две расчалки из пенькового каната длиной 6 – 8 м.

3. Принимают цементный раствор из кузова автомобиля-самосвала.

Монтажник М2 подает водителю самосвала сигнал о начале разгрузки. По окончании выгрузки он очищает кузов самосвала от остатков раствора, подает сигнал на подъем кузова. Во время выгрузки раствора монтажник М3 лопатой выравнивает гравийно-песчаную подготовку.

4. Производят подачу и расстиление раствора.

Монтажник М2 лопатой подает раствор на гравийно-песчаную подготовку, а монтажник М3 разравнивает его толщиной 1,5 см по ширине монтируемого блока.

5. Устанавливают блок порталной стенки оголовка с первой стойки автокрана.



Монтажники М2 и М3 принимают блок на высоте 20 – 30 см над местом установки и разворачивают его в нужном направлении (рис. 67). По команде монтажника М2 машинист крана медленно опускает блок на подготовленную постель, монтажник М3 направляет его по причальному шнуру. Монтажники М2 и М3 проверяют правильность установки блока по отвесу и причальному шнуру, который натягивается вдоль боковой поверхности монтируемого блока. Незначительные отклонения от проектного положения устраняют при помощи ломов. Монтаж portalной стенки ведется с первой стоянки автокрана.

6. Закрепляют portalную стенку расчалками или инвентарными подкосами.

Монтажники М2 и М3 производят крепление установленного и выверенного блока portalной стенки инвентарными подкосами.

При отсутствии инвентарных подкосов монтажник М2 поддерживает блок portalной стенки, а монтажник М3 закрепляет установленный блок, забивая в грунт колышки расчалок.

Убедившись в правильности установки блока, монтажник М2 подает команду машинисту крана ослабить строп и вместе с монтажником М3 отцепляет его крюки от монтажных петель.

7. Подготавливают, строят и устанавливают на цементный раствор блок правого откоса с закреплением его расчалками или инвентарными подкосами.

Монтажник М1 производит осмотр, очистку блока от наплывов бетона, смачивает водой опорную поверхность блока, привязывает две расчалки из пенькового каната. Монтажник М1 стропит блок правого откосного крыла. Убедившись в надежности строповки, сигнализирует машинисту крана о подаче блока к месту установки. Время выполнения операций – 10,5 мин.

Во время подачи крыла монтажник М2 лопатой подает раствор на гравийно-песчаную подготовку, а монтажник М3 разравнивает его грядкой толщиной 1,5 – 2 см по ширине устанавливаемого блока. Монтажники М2 и М3 принимают блок, разворачивают его в нужном направлении и устанавливают на подготовленную постель (рис. 68).

Правильность установки блока выверяется по отвесу и причальному шнуру. Незначительные отклонения от проектного положения устраняют при помощи ломов.

Монтажники М2 и М3 производят крепление установленного и выверенного блока правого откосного крыла инвентарными подкоса-





ми или расчалками. После окончательной выверки блока монтажник М2 производит расстроповку.

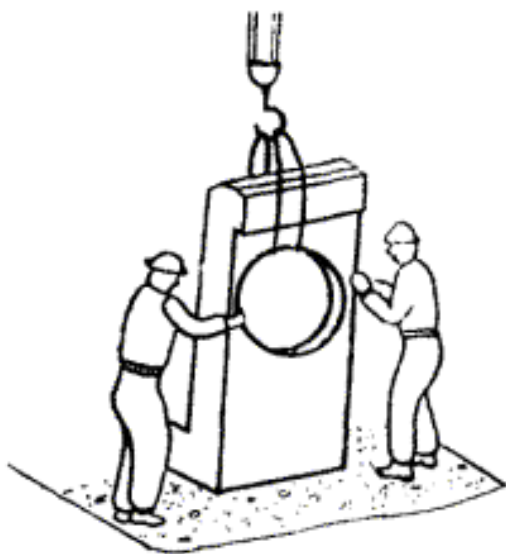


Рис. 67. Монтаж портальной стенки

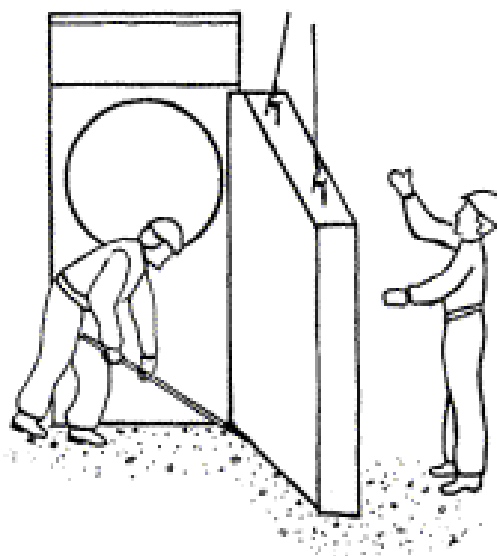


Рис. 68. Монтаж откосной стенки

8. Стропят, подают и устанавливают блок левого открьлка со второй стоянки автокрана; закрепляют блок расчалками или инвентарными подкосами.

Все операции выполняются аналогично.

9. Омоноличивают швы между блоками портальной стенки и откосных крыльев.

Монтажники М2 и М3 делают жгуты из пакли, с помощью стальной конопатки монтажник М2 конопатит вертикальный шов между блоком портальной стенки и правым открьлком, а монтажник М3 – между портальной стенкой и левым открьлком. Затем монтажник М3 подносит в ведре раствор и вместе с монтажником М2 производит заливку раствора в швы через воронку.

По видимым поверхностям швы расшиваются цементным раствором.

## 5.2. Монтаж звеньев железобетонной трубы

Завершив монтаж выходного оголовка и лекальных блоков, приступают к монтажу звеньев трубы, включающему в себя 6 технологических операций:

1) строповка звена;



- 2) подача звена;
- 3) установка звена;
- 4) выверка звена;
- 5) расстроповка звена;
- 6) подача и подливка цементного раствора под звено.

При выполнении строповки звена монтажник М2 подает сигнал машинисту автокрана М1 опустить строп над звеном. Монтажники М2 и М3 протягивают трос в отверстие звена, захватывают крюком и подают машинисту М1 сигнал подъема и перемещения звена. В целях предупреждения раскачивания звена, а также для наведения его на место укладки пользуются двумя пеньковыми расчалками длиной 6 – 8 м. Машинист М1 приподнимает звено на 20 – 30 см, убедившись в надежности строповки, М2 дает команду продолжать подъем.

Подача звена выполняется автомобильным краном. При этом машинист автокрана М1, управляя краном, подает звено к месту укладки.

При установке звена в проектное положение монтажники М2, М3, М4, М5 при помощи расчалок наводят звено на место укладки и опускают после окончательного выравнивания.

Выверка звена производится монтажниками М2 и М3, которые точно центрируют элемент при установке его на место. Выверка звена по оси трубы производится с помощью ломиков при положении звена на весу. Свободный конец ломика не должен при этом находиться против рабочего.

Расстроповка звена выполняется монтажниками М4 и М5. Для этого они один конец троса отделяют от крюка стрелы крана.

Подача и подливка цементного раствора под звено необходима в целях предотвращения образования пустот между звеном и фундаментом. Монтажники М2, М3 заливают раствор цемента (марки не ниже 150 с подвижностью в пределах 11 – 13 см) сначала с одной стороны звена, а когда он проникнет, – с противоположной стороны звена.

На рис. 69 приведена иллюстрация звеньев трубы, установленных на лекальные блоки. При этом каждое звено установлено на один блок, длина которого меньше длины звена. В этом случае образуются пазухи между нижней поверхностью звена и щебеночной подушкой в местах отсутствия лекальных блоков. Такие пазухи заливаются раствором или укладывают в них щебень. На рис. 70 приведена та же труба, но с засыпанными пазухами.





Рис. 69. Звенья трубы, установленные на лекальные блоки



Рис. 70. Засыпка пазух между звеном и щебеночной подушкой

### 5.3. Выбор автомобильного крана по грузоподъемности и его подготовка к работе

Выбирая автомобильный кран, необходимо точно рассчитать его грузоподъемность. Соблюдение этого правила позволяет обеспечить безупречную работу автокрана и безопасность. Нужно отметить, что для подъема и перемещения груза массой  $M$  нельзя применять автомобильный кран такой же номинальной грузоподъемности. В документах на спецтехнику указывают реальные значения грузоподъемности, но эти параметры даны для минимального вылета стрелы, т. е. строго вертикального. Конечно же, такая схема работы автомобильного крана на практике не применяется, поэтому номинальная характеристика грузоподъемности автомобильного крана для организации строительно-монтажных работ не имеет смысла. При увеличении вылета стрелы автомобильного крана его грузоподъемность снизится.

Чтобы правильно определить необходимую грузоподъемность машины, нужно использовать ее грузовысотные характеристики. Определяя грузоподъемность автомобильного крана, необходимо знать не только массу и габарит груза, но и ряд геометрических характеристик его подъема, при которых автомобильный кран будет работать с данной стоянки.

Необходимые характеристики и правила приведены на рис. 71. Из этого же рисунка следует правило расчета высоты подъема крюка.



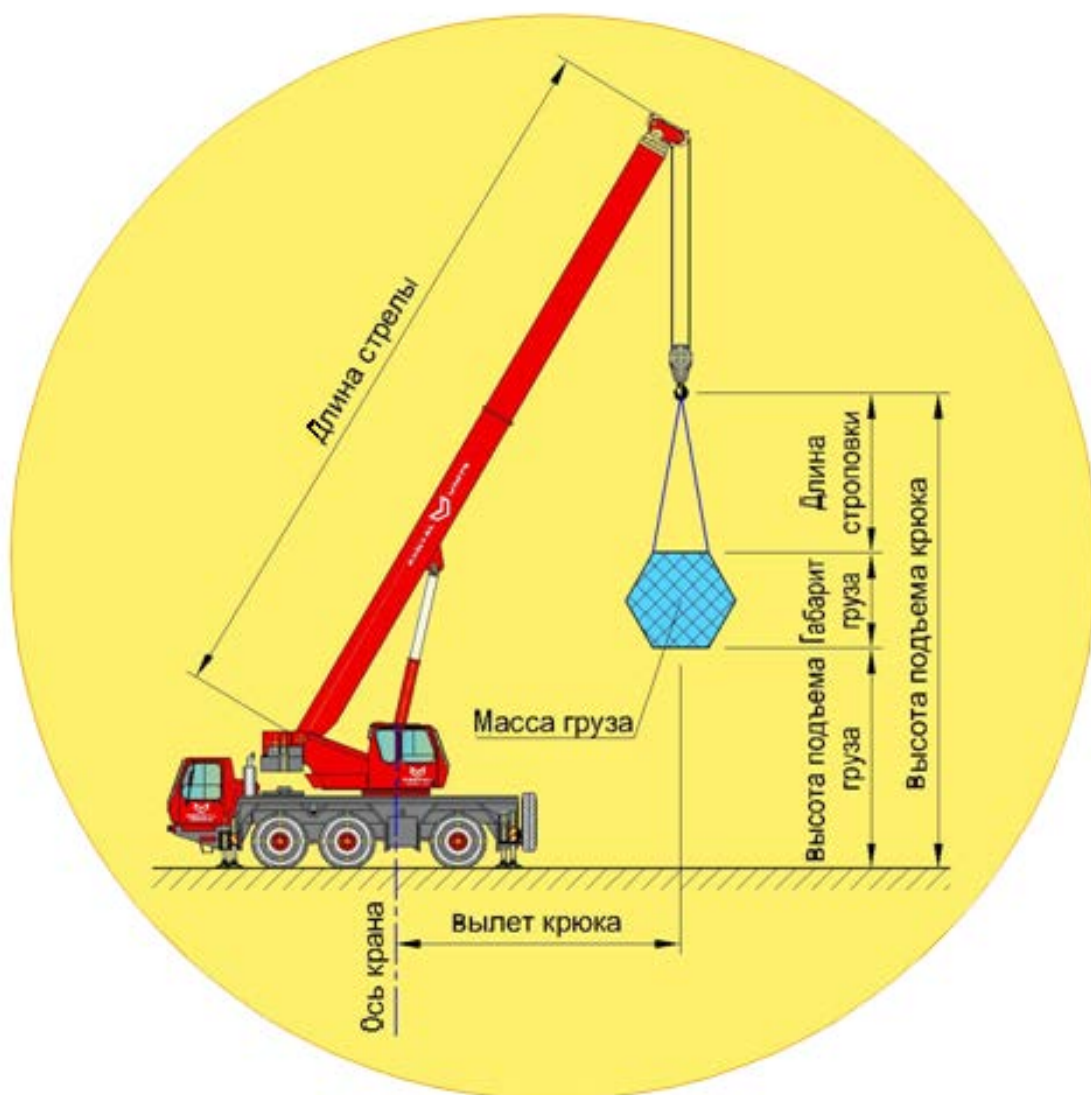


Рис. 71. Характеристики, необходимые для определения грузоподъемности крана

Для расчета грузоподъемности автомобильного крана используют таблицы или графики. В настоящее время таблицы и графики грузоподъемности имеются для различных автомобильных кранов. Для примера на рис. 72 представлен автомобильный кран «Галичанин» КС-55729В, имеющий номинальную грузоподъемность 32 т, снабженный стрелой длиной 30,1 м и гуськом длиной 7,15 м. На рис. 73 представлен график грузоподъемности этого крана. На оси абсцисс этого графика даны значения вылета стрелы, а на оси ординат указаны величины высоты подъема груза. Используя эти характеристики, определяют фактическую грузоподъемность крана.







Рис. 72. Автомобильный кран «Галичанин» КС-55729В грузоподъемностью 32 т

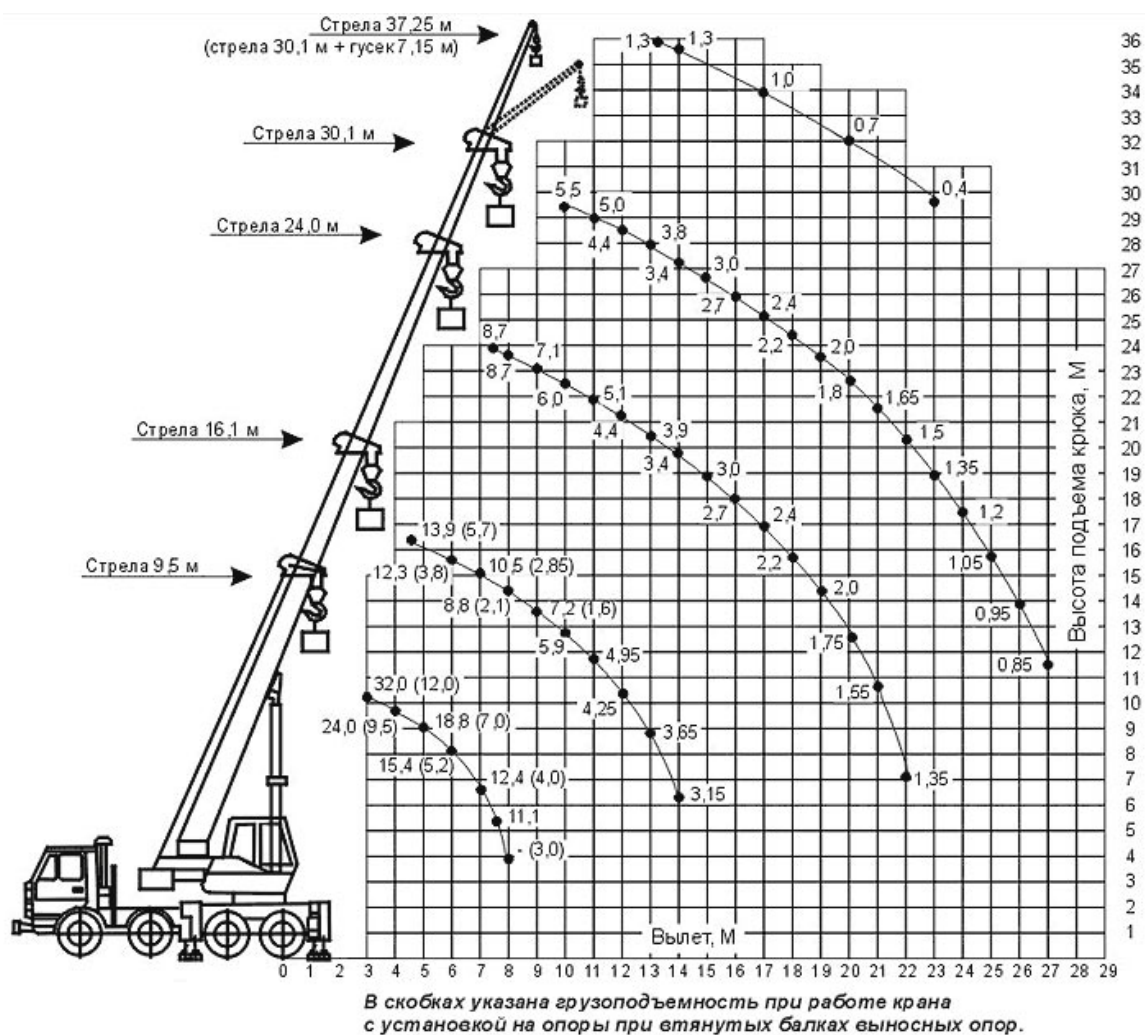


Рис. 73. График для определения фактической грузоподъемности автомобильного крана «Галичанин» КС-55729В



Непосредственно перед монтажом конструкций автомобильный кран подготавливается к работе. В первую очередь кран устанавливается на выносные опоры. При монтаже элементов трубы нагрузка от колес и опор автомобильного крана передается на грунтовое основание рабочей стоянки крана. Поэтому к рабочей стоянке выдвигаются определенные требования, позволяющие обеспечить безопасность работ.

Грунтовое основание стоянки, на которой работает кран, должно быть ровным и выдерживать нагрузку от колес и опор. Уклон площадки не должен превышать  $3^\circ$ . Поэтому перед установкой автомобильного крана на стоянку грунтовое основание проверяется на предмет наличия неровностей и в случае необходимости планируется. При выполнении планировки допускается планировать площадку путем снятия неровностей грунта только в месте стоянки колес и опор. Если основание стоянки крана сложено из плотных грунтов, то можно работать на выносных опорах с использованием только их подпятников.

Если грунты в месте стоянки крана представляют собой связные грунты высокой влажности или песчаные, то они не выдерживают нагрузок от подпятников выносных опор. В этом случае требуется подсыпка сухого песка, щебня, гравия с уплотнением грунта или применением деревянных подкладок.



Рис. 74. Автомобильный кран КС-55713-1К-3, установленный на выносные опоры

На рис. 74 представлен автомобильный кран КС-55713-1К-3, установленный на выносные опоры. Выносные опоры выдвигаются при помощи привода управления выносными опорами.

Привод управления выносными опорами монтируется на задней балке нижней рамы. Привод состоит из трехпозиционного крана, гидрораспределителя с предохранительным клапаном и четырех рукояток для выдвигания и втягивания опор. При переводе рукояток из



нейтрального в верхнее положение происходит выдвижение штоков гидроцилиндров выносных опор, а при переводе в нижнее положение – втягивание штоков.

Используя рычаги управления выдвижения и втягивания выносных опор, машинист вывешивает кран на опоры. При выполнении этой операции выдвижения штоков гидроцилиндров на полный ход не требуется, но обязательным условием является отрыв колес заднего моста от площадки. Отрыв проверяется визуально или вращением колес вручную. Зазор между шинами заднего моста шасси и грунтом должен составлять 2 – 4 см. Горизонтирование крана производить по указателю угла наклона (креномеру), установленному на задней балке нижней рамы.

После вывешивания крана на опоры машинист переводит рукоятку управления трехпозиционного крана в положение управления крановыми операциями. Заняв место в кабине, машинист нажатием кнопки переводит управление приборами в свою кабину. Включение приборов в кабине машиниста происходит автоматически.

### Контрольные вопросы и задания

1. Какие допустимые отклонения от проектных размеров для блоков оголовков разрешаются?
2. Приведите последовательность операций при монтаже трубы.
3. Какие операции выполняются при устройстве сборных оголовков?
4. Какие операции выполняются при монтаже звеньев труб?
5. Какие характеристики необходимы для определения грузоподъемности крана, используемого при монтаже элементов труб?
6. Как выбирают автомобильный кран по грузоподъемности для монтажа элементов труб?



## 6. МОНТАЖ СЕКЦИЙ ГОФРИРОВАННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ

В зависимости от конструкции основания МГТ (см. рис. 52) принимают одну из трех технологий устройства трубы и подстилающей подушки.

При строительстве подушки в два этапа вначале отсыпается ее нижняя часть [4]. Отметка поверхности отсыпаемой нижней части должна соответствовать уровню лотка трубы (см. рис. 52, *а*). Поверхности нижней части подушки придается очертание по кривой строительного подъема. Верхняя часть подушки отсыпается после укладки трубы в проектное положение [4]. Эта часть подушки располагается под нижними четвертями трубы и обеспечивает ее устойчивость в процессе последующих работ. Вследствие этого требуется тщательное заполнение гофров материалом подушки и его последующее уплотнение. Материал уплотняют электрическими трамбовками, располагая их подошву на расстоянии 5 см от гребней гофров. Во впадинах гофров материал уплотняется штыковкой.

При строительстве фундаментной подушки в один этап в ней вырезается специальное ложе, в которое производится дальнейший монтаж трубы. При устройстве нулевого слоя из грунта в нем также вырезают ложе. В этом случае вначале отсыпают подушку, затем устраивают нулевой слой и выполняют вырезку ложа.

Одновременно с устройством подушек выполняют строительство противофильтрационных экранов. Такие экраны устраивают для предотвращения подмыва основания МГТ и исключения скопления воды в основании под трубой. Противофильтрационные экраны располагают по концам трубы, а для их устройства применяют цементогрунт или глинощебень. При строительстве экранов применяют послойную отсыпку слоями толщиной по 20 см с уплотнением каждого слоя. При недостаточной влажности глинощебеночной смеси ее увлажняют.

Вырезку ложа в материале однослойной песчано-гравийной подушки или нулевом слое производят автогрейдером, оборудованным профилированным ножом, или начерно экскаватором с последующей отделкой вручную по шаблону. Конструкция шаблона и схема его расположения на материале подушки или грунте нулевого слоя приведена на рис. 75 [9].





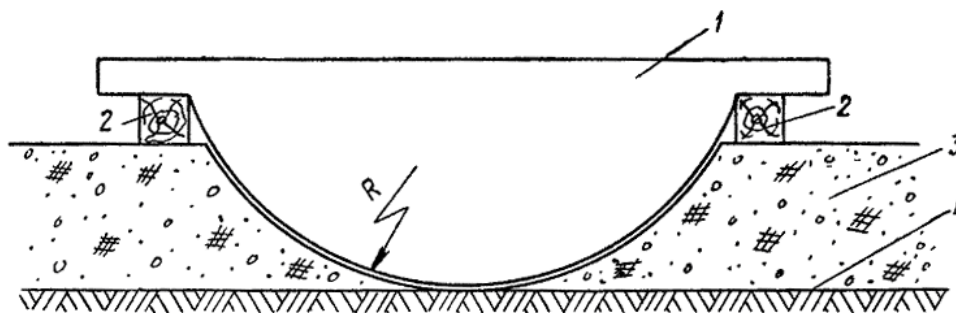


Рис. 75. Схема установки шаблона для вырезки грунтового ложа в нулевом слое: 1 – шаблон; 2 – деревянные брусья; 3 – нулевой слой; 4 – уровень верха подушки (не должен превышать нижней отметки грунтового ложа)

Шаблон изготавливают из листовой стали, досок или фанеры. Радиус криволинейной кромки шаблона принимается равным радиусу трубы по средней линии гофров. Шаблон устанавливают на два деревянных бруса, которые укладывают по обе стороны продольной оси трубы. Брусья укладывают по нивелиру, обеспечивая требуемый строительный подъем лотка трубы, и по ним перемещают шаблон. Вырезая грунт, создают ложе, в которое затем устанавливают гофрированную трубу. Отклонения профиля грунтового ложа от шаблона не должны превышать 2–3 см. На рис. 76 приведена МГТ, уложенная в ложе, вырезанное в песчаном нулевом слое.



Рис. 76. Металлическая гофрированная труба, уложенная в ложе, вырезанное в песчаном нулевом слое



После установки трубы в проектное положение производят подсыпку грунта в зазоры между поверхностью нижней части трубы и грунтовым ложем [4, 9]. В гофрах грунт уплотняют, используя ручные деревянные штыковки диаметром не более 8 см [4, 9]. В нижние четверти (до охвата трубы грунтом не менее 120°) подсыпают грунт с уплотнением ручными электрическими трамбовками. Электрическими трамбовками и виброуплотнителями уплотняют грунт на расстоянии 5 см и далее в сторону от гребней гофров.

Нулевой слой непосредственно возле трубы следует доуплотнить машиной с виброударным рабочим органом за один-два прохода машины вдоль стенок трубы [9]. В случае использования для уплотнения грунта пневмокатков доуплотнение нулевого слоя возле стенок трубы следует производить ручными электротрамбовками [4].

Металлическая гофрированная труба, а также все ее звенья и секции собираются из элементов заводского изготовления. Для сооружения круглых труб применяют гофрированные листы, изогнутые по радиусу ее поперечного сечения [4]. Элементы, применяемые для сооружения круглых труб, имеют гофры высотой 32,5 мм с гребнями, расположенными на расстоянии 130 мм друг от друга. Полезные размеры листов по окружности 1 600 мм, а вдоль трубы 910 мм. Элементы объединяют в звенья замкнутого кругового сечения. Количество элементов на звено, их толщина и масса приведены в табл. 8.

Таблица 8

**Количество элементов для устройства круглой трубы  
из элементов длиной 1 600 мм**

Диаметр трубы, м	Толщина, мм	Масса, кг	Количество элементов на звено
1	1,5	23,5	2
1	2	31,2	2
1,5	1,5	23,5	3
1,5	2	31,2	3
1,5	2,5	39	3
2	2	31,2	4
2	2,5	39	4
3	2,5	39	6



В металлических листах имеются отверстия, в которые при сборке устанавливаются болты. На рис. 77 приведена иллюстрация листов металла с отверстиями. В продольном направлении отверстия выпол-



Рис. 77. Листы металла с отверстиями под болтовые соединения

нены в два ряда, их диаметр составляет 19 мм. При взгляде изнутри листа первый ряд отверстий расположен во впадинах гофров, а второй, наоборот, – на гребнях гофров. Поэтому болтовое соединение продольного стыка выполняется в два ряда болтов с их расположением в шахматном порядке. В поперечных стыках расположение отверстий однорядное, их диаметр составляет 21 мм.

Для выполнения болтовых соединений применяют болты и гайки, конструкция и размеры которых должны соответствовать требованиям ГОСТов [27, 28]. Для обеспечения надежного болтового соединения применяются специальные шайбы. Одна шайба плосковыпуклая, а другая, наоборот, плосковогнутая. При установке шайбы обращают криволинейной поверхностью к элементу трубы, а плоская поверхность обращается к головке болта или к гайке [4]. Соответственно плосковыпуклые шайбы размещают во впадинах гофров, а плосковогнутые – на гребнях [4]. Шайбы должны плотно прилегать к стыкуемым элементам. Поэтому перевернутое положение шайб недопустимо. Плоские, круглые и квадратные шайбы для стыковки гофрированных элементов не применяются.

Конструкции таких шайб приведены на рис. 78.



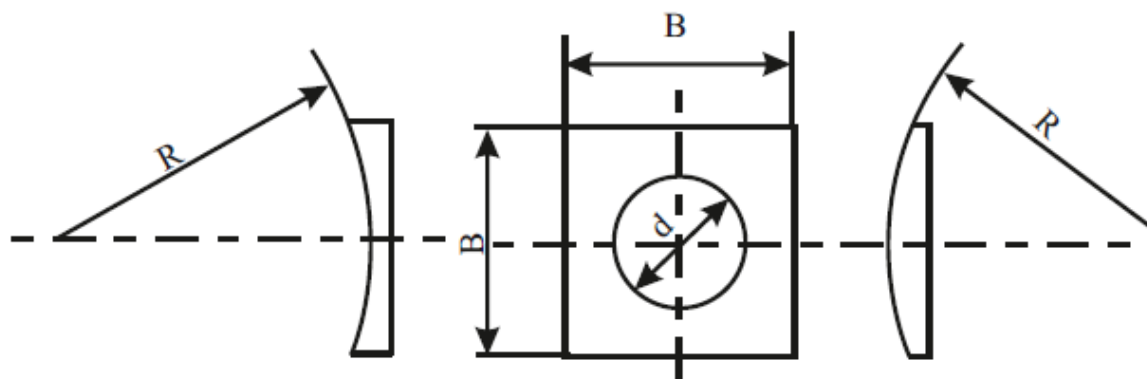


Рис. 78. Плосковогнутая и плосковыпуклая шайбы

До начала монтажа проверяют маркировку гофрированных элементов. Каждый стандартный элемент должен иметь марку с указанием толщины листа, марки стали, диаметра гофрированной трубы. Представитель ОТК завода-изготовителя маркирует элементы несмываемой краской [4].

Небольшие дефекты отдельных элементов в виде загибов углов или погнутости можно выправлять молотками, нанося удары через деревянные прокладки. Такие же прокладки нужно укладывать под выпрямляемую часть элемента [4].

Если листы металла имеют дополнительное защитное покрытие из эмали, то необходимо проверить его качество, а именно сплошность покрытия и отсутствие механических повреждений [4]. Перед монтажом конструкции необходимо очистить соприкасающиеся поверхности элементов от грязи и посторонних частиц. До начала монтажа надо подготовить полный комплект инструментов, включающий ключи, оправки, ломы, крючья, молотки [4].

Сборку звеньев и секций трубы можно механизировать, используя электрические и пневматические гайковерты.

Монтаж металлических гофрированных труб выполняется по одной из двух схем:

1. Труба монтируется из отдельных секций, собранных на полигоне.
2. Труба собирается на месте из отдельных элементов.

Предпочтение отдают способу монтажа трубы из секций, собираемых на полигоне. Такую схему рекомендуется применять во всех случаях, когда имеется возможность доставки секций автомобильным транспортом. В районах с температурой воздуха ниже  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  способ монтажа из секций должен быть основным, а монтаж секций реко-





мендуется производить «с колес», устанавливая секции сразу в проектное положение после подъема с транспортных средств [4].

Длина секций назначается исходя из проектных размеров трубы, вследствие этого при сборке трубы из секций возможно применение секций различной длины [4]. В промежуточных секциях число звеньев должно быть нечетным. В этом случае не возникнет трудностей при стыковке секций и не нарушится общая схема расположения элементов в трубе [4]. Это правило не обязательно для крайних секций, в которых может быть и четное количество звеньев [4]. При назначении длин секций труб необходимо учитывать возможности имеющихся транспортных средств для перевозки конструкций на строительную площадку. Поэтому промежуточные секции обычно состоят из трех или пяти звеньев.

При сборке секций труб на полигоне вначале собирают отдельные звенья, из которых затем собирают секции труб или сами трубы [4]. Для сборки отдельных звеньев элементы ставят вертикально. Один рабочий занимает место внутри звена, а второй – снаружи. В средней части звена ставят три или четыре болта [4]. Собранные таким образом звено опрокидывают и откатывают. В каждом звене расположение элементов выполняют однотипным. Для этого один конец элемента накладывают изнутри трубы, а другой – снаружи. Таким же образом собирают второе звено. Собранные два звена ставят горизонтально, оставляя между ними расстояние для установки соединительного звена, которое собирают из отдельных листов.

Сборку соединительного звена начинают с установки нижнего элемента. Этот элемент заводят так, чтобы линия продольных стыков была смещена на величину, кратную шагу болтов поперечных стыков. Величина смещения должна составлять от одного до четырех болтов [9]. В местах стыковки трех элементов не должно быть соприкосновения двух из них, входящих в одно звено. Затем ставят все болты в поперечных стыках и добавляют их в продольных. Так собирают секцию из трех звеньев. Собрав три звена и устроив между ними два стыковых звена, получают секцию из пяти элементов. Для сборки секций из семи звеньев вначале собирают две секции из трех звеньев, а затем между ними собирается соединительное звено. При необходимости можно к секции из трех звеньев присоединить еще одно звено и получить секцию из четырех звеньев [4]. Секцию или трубу с четным числом звеньев получают путем удлинения ранее собранной [4]. На рис. 79 показана промежуточная секция трубы, собранная из пяти звеньев, а на рис. 80 – концевая секция из четырех звеньев.





Рис. 79. Промежуточная секция трубы из пяти звеньев



Рис. 80. Концевая секция трубы из четырех звеньев

При сооружении трубы из отдельных элементов применяются две схемы сборки. Применяя первую схему сборки, вначале выкладывают нижние элементы на всю длину трубы, объединяя их болтами в средней части. Затем устанавливают по два других элемента звеньев через одно звено. Далее последовательно монтируют оставшиеся элементы пропущенных звеньев, завершая монтаж постановкой и затяжкой всех болтов. Порядок установки листов показан цифрами на рис. 81.

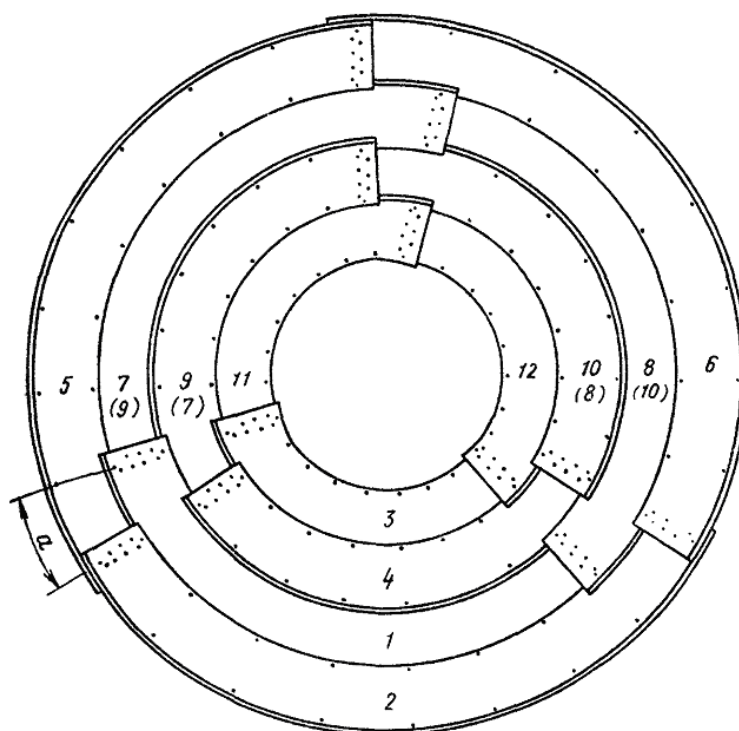


Рис. 81. Монтажная схема сборки трубы из элементов (вид с торца):  $a$  – величина сдвижки продольных стыков; 1–12 – порядок установки элементов при сборке трубы



Между звеном, в котором затягивают все болты, и собираемым звеном должно быть не менее трех звеньев с наживленными болтами.

Для наглядной иллюстрации процесс сборки трубы приведен на рис. 82 – 84. Из рис. 82 видна раскладка металлических гофрированных элементов нижнего ряда, а из рис. 83 – установка листов через одно звено.



Рис. 82. Раскладка листов нижнего ряда



Рис. 83. Установка листов через звено

По второй схеме трубу следует наращивать стандартными элементами постепенно. На рис. 84 приведена последовательность установки стандартных элементов сборки секции трубы из звеньев.

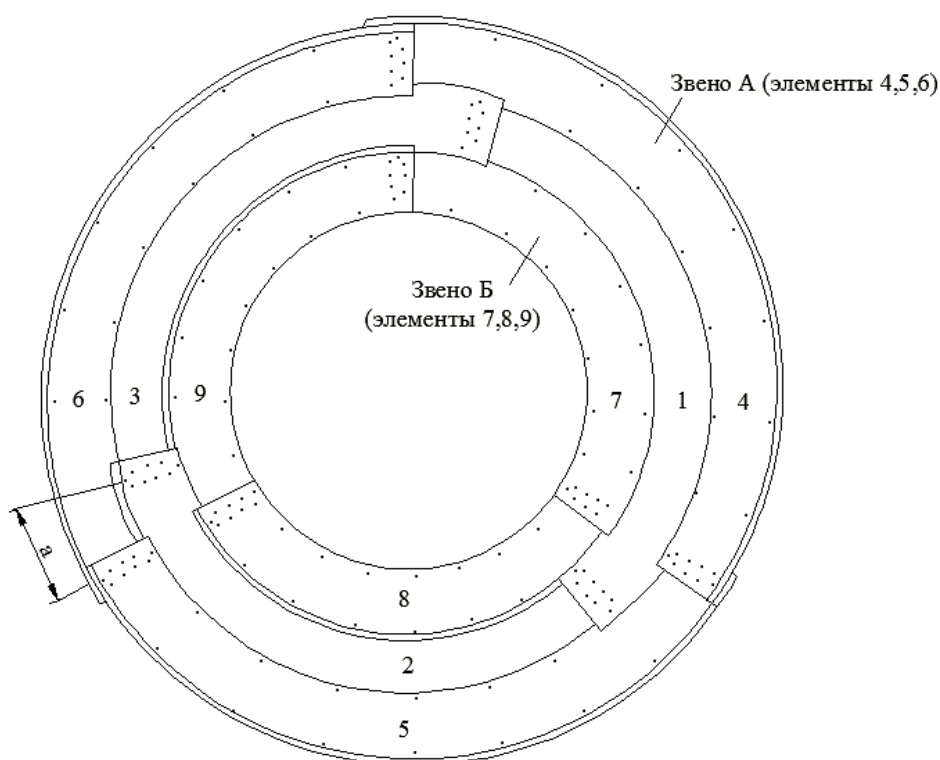


Рис. 84. Монтажная схема сборки секции трубы из звеньев (вид с торца):  $a$  – величина сдвижки продольных стыков; 1–9 – порядок установки элементов при сборке трубы



Элементы переносят и удерживают в необходимом положении специальными крюками. Центрировку отверстий в элементах для установки болтов осуществляют оправками, вставляя их в отверстия, расположенные рядом с отверстиями, в которые вставляют болт. При установке элементов в местах нахлеста трех листов не допускается соприкосновение двух листов, входящих в одно звено. Сборку следует производить с установкой минимального количества болтов: вначале ставят 2–3 болта на средних участках продольных и поперечных стыков, после чего производят стяжку в местах соединения трех элементов длинными монтажными болтами, которые затем заменяют обычными. После наживления болтов в звене из элементов 11 и 12 продолжают сборку следующего участка трубы, а в звене из элементов 5 и 6 производят установку и затяжку всех болтов.



Рис. 85. Удерживание стандартного элемента в проектном положении крюком

На рис. 85 представлен фрагмент монтажа с удерживанием стандартного элемента в проектном положении при помощи специальных крюков.

В тех случаях, когда проектом предусмотрен монтаж трубы на спланированное основание без устройства ложа, допускается сборка рядом (параллельно проектной оси сооружения) и последующая накатка ее в проектное положение.

При спрофилированном ложе основания трубу следует устанавливать краном.

Все элементы конструкции трубы, материалы, инструменты и оборудование должны быть завезены на строительную площадку до начала сборки трубы. При монтаже труб «с колес» доставляются только отдельные элементы для объединения секции.

Монтаж труб с монолитными или сборными оголовками должен начинаться со сборки фундаментной части низового оголовка с последующей укладкой металлических конструкций сооружения (секций, элементов) и завершением устройства оголовков.





При устройстве трубы из стандартных элементов с дополнительным антикоррозийным битумомастичным покрытием необходимо для обеспечения необходимого зазора в болтовых отверстиях до установки элементов оплавить в них избыток удержавшейся битумной мастики. Такая операция производится с помощью оправок эталонного диаметра, нагретых до температуры 130 °С.

Окаймляющие уголки устанавливаются, когда в продольных стыках торцевых звеньев трубы болты, расположенные на расстоянии 0,3–0,5 м от торцов, не затянуты.

Приемка смонтированной трубы должна быть оформлена актом.

### Контрольные вопросы и задания

1. Каким образом производится осмотр и отбраковка листов металла (входной контроль)?
2. Каким образом производится подготовка листов металла к сборке?
3. Каким образом производится доставка секций на строительную площадку?
4. Опишите все операции, выполняемые монтажниками и машинистом крана при монтаже секций с колес.
5. Опишите технологию сборки звеньев и секций трубы на отдельном полигоне.
6. Технология сборки трубы из отдельных элементов на строительной площадке (опишите все операции, выполняемые монтажниками).
7. Правила монтажа секций гофрированных труб на песчано-гравийную подушку (опишите оба способа).
8. Каким образом производится монтаж секций гофрированных труб при устройстве нулевого слоя?



## 7. УСТРОЙСТВО ГИДРОИЗОЛЯЦИИ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО АНТИКОРРОЗИЙНОГО ПОКРЫТИЯ

Гидроизоляция бетонных и железобетонных труб служит для защиты бетона и арматуры труб от коррозии. На рис. 86 – 88 приведены типичные дефекты труб, образующиеся вследствие некачественной гидроизоляции труб.



Рис. 86. Разрушение пескоцементного раствора в шве между звеньями круглой трубы с ее внутренней стороны



Рис. 87. Разрушение шва между звеньями прямоугольной трубы с ее внутренней стороны

Гидроизоляция должна быть теплостойкой, морозоустойчивой, сплошной, эластичной и надежной при длительном воздействии воды и давления грунта насыпи.

При сооружении труб применяются, как правило, обмазочная и оклеечная гидроизоляции, конструкции которых регламентируются ВСН 32-81 [29]. В состав гидроизоляционных работ входят:

1. Устройство гидроизоляции стыков между звеньями трубы.
2. Устройство обмазочной или оклеечной изоляции звеньев трубы.





Рис. 88. Коррозия арматуры

Гидроизоляция труб должна выполняться обязательно в сухую погоду при температуре не ниже 5 °С. При температуре воздуха выше 25 °С или при дожде место работ должно быть защищено тентом.

### 7.1. Гидроизоляция стыков между звеньями

Изоляционные работы по устройству гидроизоляции стыков между звеньями труб включают:

- 1) заделку швов между звеньями;
- 2) оклеечную изоляцию швов.

Заделку стыков начинают с конопатки швов между звеньями трубы и блоками оголовков. Швы конопатят снаружи двумя слоями жгутов из пакли, пропитанных битумом или каболкой. Каболка (канат смоляной) представляет собой льняную прядь, пропитанную антисептическим раствором и нефтепродуктами и сплетенную специальным образом, что придает ей повышенную биостойкость, хорошее сопротивление к гниению и существенно увеличивает срок эксплуатации. Для изготовления каболки используют веревку из льна, конопли, агавы или других растений. Веревку обрабатывают пропиточными материалами, в качестве которых используют смоляно-битумные мастики, нефтяные битумы (БНИ-4, БНД и др.), растворители, приготовленные по специальной технологии при повышенной температуре.



На рис. 89 и 90 представлен общий вид строительной пакли и каболки.



Рис. 89. Пакля ленточная строительная



Рис. 90. Каболка

Каболка поставляется в ведрах и бобинах (рис. 91, 92).



Рис. 91. Каболка,  
поставляемая в ведре



Рис. 92. Каболка,  
поставляемая в бобине

При конопатке швов первый слой жгута втапливают так, чтобы он не доходил на 3 см до внутренней поверхности звеньев, а затем заделывают цементным раствором. Второй слой втапливают в шов на 0,5 – 1 см от наружной поверхности звена и заливают битумной мастикой через специальную плоскую воронку [29, 30].





С внутренней стороны швы на глубину 3 см заделывают цементным раствором, а с внешней стороны шов на глубину 0,5 – 1 см заливают битумной мастикой через плоскую воронку (состава 1:3) [29, 30]. В пределах «дуги опирания» звена трубы зазор конопатят жгутом пакли изнутри и заделывают цементно-песчаным раствором [29].

При заделке швов с внутренней стороны пескоцементным раствором и с внешней стороны битумной мастикой для предупреждения оплывов применяют временную опалубку-кружало из досок [29, 30]. После отверждения битумной мастики и схватывания пескоцементного раствора кружало снимают и переставляют на очередной шов [30].

Оклеечную изоляцию швов устраивают из двух слоев битуминизированной ткани (мешковины). В качестве ткани могут применяться ткани льно-джуто-кенафные паковочные № 2, 3 или технического назначения № 1 и 2 [29], а также стекловолокно и рубероид [30]. Эти ткани должны быть обработаны антисептиком. Ткань может быть пропитана масляным антисептиком как на шпалопропиточных заводах, так и в условиях строительной площадки, но с соблюдением рекомендаций [31]. На строительной площадке куски или рулоны паковочной ткани пропитывают в открытых металлических емкостях, заполненных антисептиком, подогретым до температуры 50 °С.

Разогрев антисептика производят на жаровне со слоем песка. Толщину слоя песка назначают такой, чтобы обеспечивалась постоянная температура пропитки. Уровень антисептика в металлической емкости должен быть на 20 – 30 см выше куска пропитываемой ткани [31]. Ткань пропитывают не менее 30 мин. После обработки ткань извлекают из емкости и сразу же отжимают от избытка антисептика, который можно использовать повторно [31].

Отжим пропитываемой ткани выполняют под нагрузкой в специальном противне с сетчатой крышкой из перфорированного стального листа с ячейками 2 – 3 мм [31].

Ткани технического назначения изготавливают почти из всех видов текстильных волокон и текстильных нитей. Вследствие применения различных видов нитей технические ткани отличаются большим многообразием. На рис. 93 и 94 приведены ткани: льно-джуто-кенафная паковочная и техническая.





Рис. 93. Ткань льно-джуто-кенафная  
паковочная



Рис. 94. Ткань техническая  
(один из вариантов)

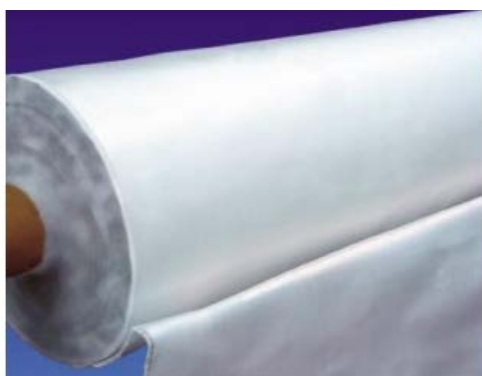


Рис. 95. Стеклоткань



Рис. 96. Рубероид

Стеклоткань или стекловолокно изготавливается из расплавленного стекла, которому придана форма длинных и тонких волокон или нитей. В такой форме стекло проявляет необычные для него свойства: не бьётся и не ломается, легко гнётся не разрушаясь. Рубероид – это рулонный кровельный и гидроизоляционный материал, изготавливаемый путём пропитки кровельного картона мягкими нефтяными битумами с последующим покрытием обеих поверхностей слоем тугоплавкого битума.

Общий вид гидроизоляционной стеклоткани представлен на рис. 95, а на рис. 96 – рулоны рубероида.

Для устройства оклеечной изоляции шва звеньев трубы ткань нарезается лентами шириной 25 – 30 см.

Ленты из ткани, требующей обработки антисептиком, пропитываются по технологии, описанной выше.

Изолируемая поверхность шва должна быть чистой и сухой. Поэтому при необходимости изолировщики очищают бетонную поверхность от грязи, снега, наледи и т.п. Далее на чистую и сухую поверхность наносят грунтовку, для устройства которой применяют битумный лак.



Битумные лаки являются растворами природных или нефтяных битумов в органических растворителях. Для приготовления битумных лаков используют искусственные битумы, полученные при химической переработке нефти, или природные битумы, содержащие минимальное количество золы и серы (асфальтиты). В качестве растворителей используют скипидар, уайт-спирит, сольвент, ксилол и т.п. Приготовление битумных лаков выполняют сплавлением битумов с природными (например, канифоль) или синтетическими (например, искусственные копалы) смолами. Сплавление битумов со смолами производят при температуре 280 °С. Затем расплав охлаждают до температуры 170 °С и вводят растворители. Изготавливают также масляные битумные лаки, в состав которых вводят высыхающие масла (например, льняное, тунговое) и сиккативы (свинцовые, марганцевые или кобальтовые соли жирных кислот). В качестве тары для битумных лаков применяют ведра, канистры, бутылки.

На рис. 97 показан общий вид битумного лака, иллюстрирующий его консистенцию.

Консистенция битумных лаков характеризуется величиной условной вязкости по вискозиметру ВЗ 4, которая должна иметь значения, варьирующиеся в диапазоне 10 – 15 с при температуре 20 °С [29].

Условная вязкость битумного лака представляет собой время его истечения через сопло вискозиметра ВЗ 4. Для определения условной вязкости в резервуар вискозиметра ВЗ 4 необходимо залить битумный лак в объеме 100 мл и при помощи секундомера засечь время его истечения через сопло. Полученное время истечения (в секундах) принимается за условную вязкость.



Рис. 97. Битумный лак





Битумные лаки хранятся в плотно закрытой таре, служащей для предохранения лака от воздействия влаги и прямых солнечных лучей. При хранении битумных лаков температура воздуха может варьироваться в достаточно широких пределах (от  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Не допускается хранить битумные лаки вблизи нагревательных приборов и открытых источников огня.

Перед применением битумный лак необходимо тщательно перемешать, а при необходимости разбавить растворителем (уайт-спиритом, сольвентом или бензином-растворителем). При подгрунтовке поверхности бетонной и железобетонной трубы битумный лак наносится при помощи малярного валика, кисти или швабры. Расход битумного лака составляет  $0,5 - 1,0\text{ л/м}^2$ .

По битумному лаку наносится слой горячей битумной мастики. При оклеечной изоляции шва битумная мастика выполняет две функции: первая состоит в антикоррозионной защите железобетонных изделий, а вторая – в соединении ткани с изолируемым и участком поверхности звена и слоев ткани между собой. Описание технологии приготовления битумной мастики на строительной площадке будет приведено в подразд. 7.3. Нанесение мастики выполняется при помощи малярных инструментов. При нанесении мастики следят за тем, чтобы окрашиваемая поверхность не имела пропусков и была ровной. После нанесения первого слоя битумной мастики по ее поверхности расстилают подготовленную ленту ткани, которая при оклеечной изоляции выполняет функцию армирующего материала. Ленту ткани накладывают на шов, обработанный на всю ее ширину горячей битумной мастикой.



Рис. 98. Нанесение битумной мастики  
малярным валиком

Наклеенную ленту разглаживают резиновым валиком [29, 30]. Затем уложенную ленту смазывают горячей битумной мастикой и поверх нее накладывают вторую ленту, тщательно прикатывая тем же валиком [29, 30]. На рис. 98 видно, как наносится битумная мастика поверх слоя армирующего материала.





сти трубы и друг к другу без пропусков и пузырей [29, 30]. Поверх второй ленты наносят отделочный слой битумной мастики [29, 30]. До нанесения слоев битумной мастики на прослойки армирующей ткани необходимо следить за тем, чтобы их поверхность была гладкой, сплошной, монолитной и не имела вздутий (пузырей). После наклейки второй прослойки армирующей ткани до устройства на ней защитного слоя гидроизоляция должна быть освидетельствована представителями технического надзора.

Обнаруженные на поверхности армирующей ткани дефекты нуждаются в устранении [29, 30]. Вздутия ткани появляются вследствие попадания воздуха между тканью и нанесенным ниже нее слоем битумной мастики. Это место получается непроклеенным. Для устранения вздутий и непроклеенных мест дефектную гидроизоляцию вскрывают крестообразным разрезом. Концы армирующего материала отгибают и тщательно протирают ветошью, что способствует более быстрому высыханию поверхности ткани, прилегающей к слою мастики. Данная операция видна из рис. 99. Затем на поверхность трубы, расположенную под отогнутыми концами ткани, наносят битумную мастику, поверх которой накладывается заплата, к которой на битумную мастику приклеиваются отогнутые концы. Операция приведена на рис. 100.



Рис. 99. Фрагмент протирания отогнутых концов ткани ветошью



Рис. 100. Нанесение мастики на заплату для наклейки отогнутых концов ткани





Рис. 101. Нанесение отделочного слоя битумной мастики поверх дефектного места

При нанесении мастики на всех этапах устранения вздутия ее тщательно притирают шпателем, затем наносят горячую мастику, накладывают заплату, к которой послойно приклеивают отогнутые концы. Дефектное место (приклеенные концы армирующей ткани) покрывают отделочным слоем мастики.

Фрагмент нанесения отделочного слоя битумной мастики поверх дефектного места приведен на рис. 101.

Таким образом, конструкция оклеечной гидроизоляции шва включает в себя подготовительный слой (грунтовка) из битумного лака и последовательно чередующиеся слои битумной мастики и прослойки армирующей ткани. Эта конструкция называется оклеечной гидроизоляцией по типу БМ-1. Такую же оклеечную гидроизоляцию устраивают на звеньях сборных железобетонных водопропускных труб, которые не имеют паспорта или не отнесены к высшей категории качества. Несмотря на одну и ту же конструкцию, устройство оклеечной гидроизоляции на звеньях имеет свои технологические особенности.

## 7.2. Гидроизоляция звеньев трубы

Гидроизоляцию звеньев водопропускных бетонных и железобетонных труб прямоугольного и круглого сечений устраивают по типу БМ-1, БМ-3 и ИР [29]. Типы гидроизоляции приведены в табл. 9. Выбор типа гидроизоляции зависит от вида конструктивного элемента трубы и категории качества, к которой отнесено звено при испытании на водонепроницаемость.

Двухслойную армированную битумную оклеечную изоляцию типа БМ-1 или двухслойную битумно-резиновую (типа ИР) гидроизоляцию применяют при сооружении:

- труб из прямоугольных и круглых железобетонных звеньев, не имеющих паспорта или не отнесенных к высшей категории качества.



Гидроизоляция устраивается по поверхности ригеля и стен прямоугольных звеньев и поверхности круглых звеньев трубы с заведением на блоки фундамента звеньев;

– сборных бетонных прямоугольных водопропускных труб. Гидроизоляцию устраивают по поверхности плиты перекрытия и насадок.

Таблица 9

**Типы гидроизоляции звеньев водопропускных бетонных и железобетонных труб [29]**

Параметры	Тип гидроизоляции по виду основного изолирующего материала		
	битумная		резинобитумная
	Тип гидроизоляции по техническим свойствам		
	Мастичная		Рулонная
Изолирующий материал	Горячая битумная мастика		Изол, изоляная мастика
Армирующий материал	Тканый или сетчатый	Не применяется	Тканый или сетчатый
Способ выполнения работ	Послойные розлив мастики и укладка армирующей ткани	Окраска или обмазка мастикой	Наклейка рулонного материала на мастику или клей
Состояние гидроизоляции	Термопластичная		
Индекс гидроизоляции	БМ-1	БМ-3	ИР

Конструкции гидроизоляции звеньев круглых и прямоугольных железобетонных труб по типу БМ-1 приведены на рис. 102 и 103, конструкция гидроизоляции перекрытия и насадок сборной бетонной прямоугольной трубы – на рис. 104.

Устройство гидроизоляции выполняется в соответствии с требованиями ВСН 32-81 [29]. Гидроизоляцию типа БМ-1 на водопропускных трубах устраивают по загрунтованной битумным лаком поверхности бетона послойным нанесением горячей битумной мастики марки Ю-П и армирующих материалов [29]. Мастика марки Ю-П применяется при расчетной температуре воздуха от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $-40^{\circ}\text{C}$ . В качестве армирующих материалов применяют стеклоткани и ткани льно-джуто-кенафные. Показатель физико-механических свойств армирующих тканей регламентируются ВСН 32-81 [29]. При этом до-



пускается применять другие ткани, но с показателями физико-механических свойств, близкими к указанным в работе [29] значениям.

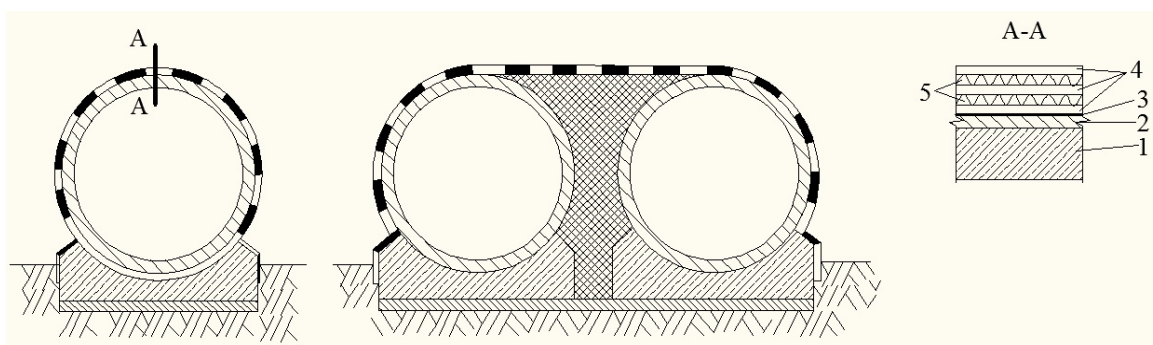


Рис. 102. Двухслойная армированная битумная оклеечная изоляция типа БМ-1, применяемая на сборных железобетонных круглых водопропускных трубах: 1 – звено трубы; 2 – подготовительный слой; 3 – битумная грунтовка; 4 – три слоя битумной мастики толщиной 1,5–2 мм; 5 – две прослойки армирующей ткани

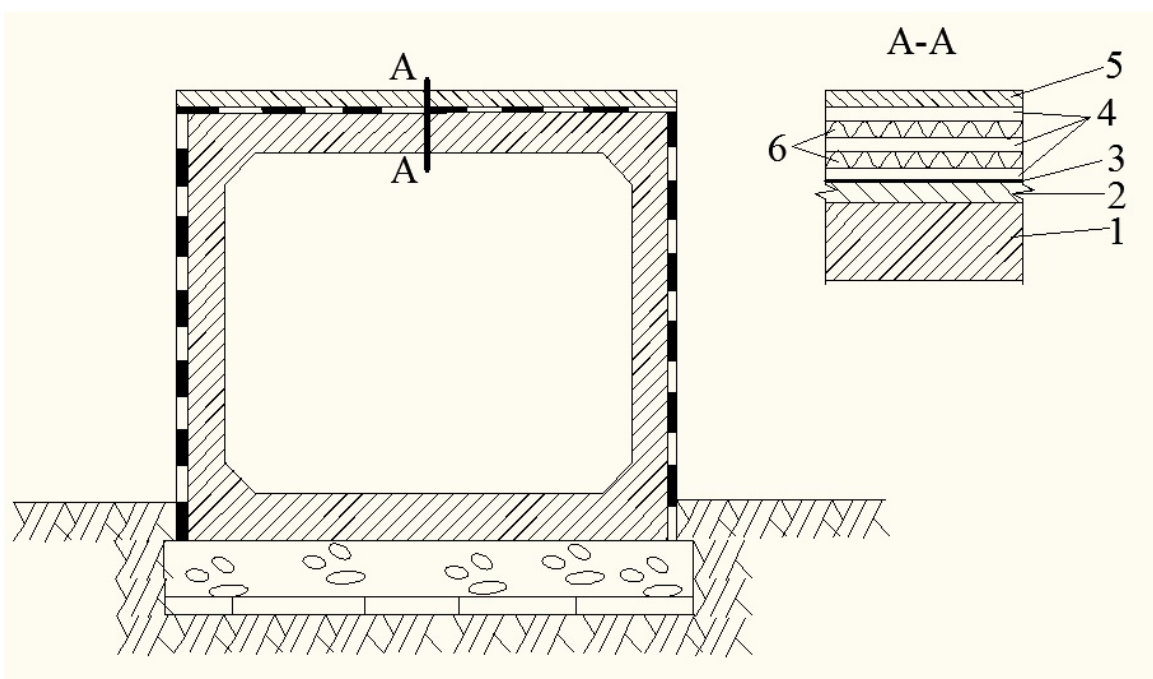


Рис. 103. Гидроизоляция типа БМ-1 для сборных железобетонных прямоугольных водопропускных труб: 1 – звено трубы; 2 – подготовительный слой; 3 – битумная грунтовка; 4 – три слоя битумной мастики толщиной 1,5 мм каждый; 5 – защитный слой толщиной 30 мм цементобетона марки М-150; 6 – два слоя армирующего материала между ними





Технология производства работ и ликвидации вздутий изоляции звеньев по типу БМ-1 схожа с оклеечной изоляцией швов. Отличие состоит в том, что на звеньях оклеечная изоляция выполняется полотнами, которые шире лент, применяемых для оклейки стыков звеньев, поэтому прокатку полотен армирующего материала резиновым валиком производят от оси (середины) полотна к его краям. Прокатку ведут под углом  $30 - 35^\circ$ , следя за тем, чтобы наклеиваемый армирующий материал плотно прилегал к изолируемому основанию.

В последнюю очередь прокатывают края полотна. Следующее полотно укладывают внахлестку с перекрытием на 10 см. При этом перекрываемый край полотна должен быть обработан битумной мастикой по всей площади пере-

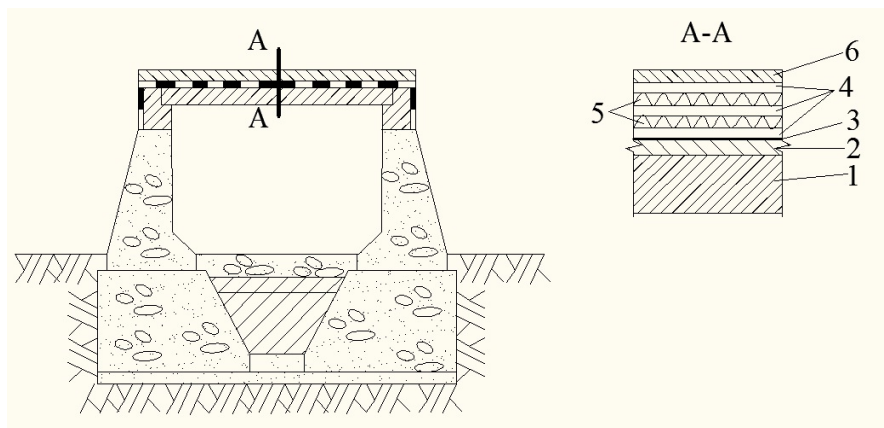


Рис. 104. Гидроизоляция типа БМ-1 для сборных железобетонных прямоугольных водопропускных труб:  
1 – изолируемый элемент; 2 – подготовительный слой;  
3 – битумная грунтовка; 4 – три слоя битумной мастики толщиной 1,5–2 мм каждый; 5 – две армирующие прослойки ткани; 6 – защитный слой толщиной 30 мм из цементобетона марки М-150

крытия. Для этого удобно производить нанесение мастики на перекрываемый край с некоторым запасом на 3 – 5 см. Во втором слое армирующего материала по длине и ширине полотна стыки должны быть сдвинуты не менее чем на 30 см относительно стыков в ранее уложенном слое. По поверхности отделочного слоя битумной мастики устраивается защитный слой из мелкозернистого бетона толщиной не менее 40 мм [29].

Гидроизоляцию типа ИР (изольная рулонная) устраивают на водопропускных трубах и лотках нанесением на загрунтованную поверхность холодной мастики изол и наклеиванием на нее полотен рулонного изола.

Общий вид рулонного изола виден из рис. 105. Изол является безосновным материалом гидроизоляции и выпускается в виде рулонов шириной 1 000 мм, площадью не менее  $10 \text{ м}^2$ . Толщина изола со-



ставляет 2 мм с допускаемыми отклонениями  $\pm 0,2$  мм. Изол изготавливается из регенерированной резины и битума с введением в него различных наполнителей, в качестве которых используют синтетические полимеры.

Для устройства гидроизоляции типа ИР применяют холодную мастику изол, на которую наклеивают рулонный изол и упрочняемую армирующую прослойку, которую наносят на мастику между слоями рулонного изола [29].



Рис. 105. Общий вид рулонного изола

Рулонный изол хранят в заводской упаковке в складском помещении, предотвращающем увлажнение поверхности полотна, вдали от отопительных приборов [29]. Если рулонный изол хранили зимой при отрицательной температуре, то до начала работ его выдерживают в помещении с темпера-

турой плюс 15–20 °С не менее 24 ч или в специальных обогреваемых шкафах с температурой не выше +45 °С [29].

Холодную мастику изол хранят в металлической таре, в которой ее транспортируют к месту производства работ. Перед применением мастику перемешивают. Способ перемешивания зависит от тары, в которой хранили холодную мастику изол. Мастику, хранившуюся в бидонах и флягах, перемешивают после открытия тары принудительно вращением лопастей с приводом от пневмодрели. Мастику, хранившуюся в бочках, перемешивают взбалтыванием, перекачивая тару. При устройстве изоляции типа ИР поверхность звена очищают. На чистую и сухую поверхность наносят грунтовку с условной вязкостью 10 – 15 с по вискозиметру ВЗ 4 и температуре 20 °С [29]. Грунтовку наносят малярной кистью или валиком [29]. На подгрунтованную поверхность наносят первый слой предварительно перемешанной холодной мастики изол, толщина слоя которой должна быть не менее



1 мм [29]. Нанесенную мастику выдерживают до загустевания и образования липкой пленки. Время выдержки уточняют экспериментально путем испытания на отрыв полосок изола, склеенных мастикой, каждой новой партии [29]. За рабочую выдержку принимают время, соответствующее максимальному значению прочности при отрыве [29].

Ориентировочное время выдержки холодной мастики изол составляет примерно 20 мин [29]. Изол наносят ковшом-шпателем или травяными щетками [29]. На слой мастики укладывают полотно первого слоя рулонного изола. Приклеиваемые полотна рулонного изола и армирующего материала следует сразу разглаживать и прикатывать [29]. Разглаживание полотен изола выполняют вначале вдоль их оси, а затем от оси к кромкам под углом  $30 - 35^\circ$ , в последнюю очередь разглаживают кромки [29]. Выполняя разглаживание изола, следят за тем, чтобы наклеиваемое полотно плотно прилегало к изолируемому основанию [29]. Поверх первого наклеенного слоя изола выполняют нанесение второго слоя холодной мастики изол, соблюдая правила, изложенные ранее. Поверх этого еще липкого второго слоя укладывают полотно армирующего материала, которое прикатывается точно так же, как и первый слой рулонного изола [29]. Далее наносят третий слой холодной мастики изол, а после ее выдержки по липкому слою производят укладку второго слоя рулонного изола [29].

Поверх второго слоя рулонного изола выполняется устройство защитного слоя [29]. Защитный слой гидроизоляции должен обеспечить плотное защемление гидроизоляции, предохранить ее от механических повреждений и продавливания балластом и обеспечить повышенную прочность гидроизоляции против тормозных и ударных нагрузок [29]. Поэтому для устройства защитного слоя применяют мелкозернистый бетон, укладываемый в слой толщиной не менее 40 мм. Поверх отвердевшего защитного слоя наносят грунтовку из разжиженной мастики изол [29].

Двухслойную битумную неармированную гидроизоляцию обмазочного типа БМ-3 применяют при устройстве железобетонных водопропускных труб прямоугольного и круглого сечения из звеньев, отнесенных при испытаниях на водонепроницаемость к высшей категории качества. Такая же гидроизоляция применяется на поверхности стен сборных бетонных прямоугольных труб и боковых гранях их фундамента, соприкасающихся с грунтом. Конструкция гидроизоляции типа БМ-3 приведена на рис. 106 и 107 [29].



Обмазочную гидроизоляцию по типу БМ-3 устраивают по загрунтованной битумным лаком поверхности бетона с нанесением за 2 раза слоя горячей битумной мастики марки Ю-П толщиной около 3 мм или слоя холодной изольной мастики марки МРБ-Х толщиной около 2,5 мм [29].

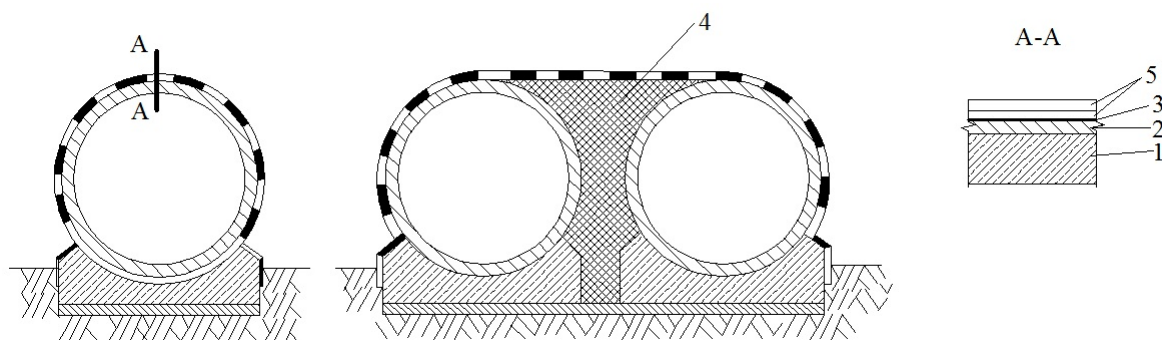


Рис. 106. Гидроизоляция сборных железобетонных круглых водопропускных труб типа БМ-3: 1 – звено трубы; 2 – подготовительный слой; 3 – битумная грунтовка; 4 – заполнение; 5 – два слоя битумной мастики толщиной 2,5–3 мм

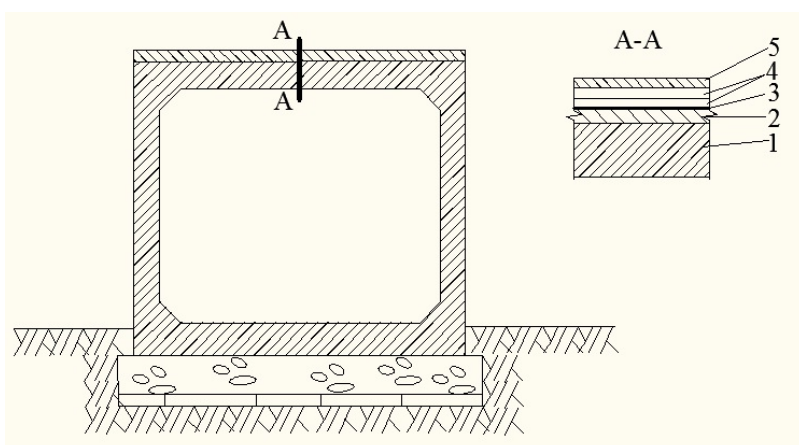


Рис. 107. Гидроизоляция типа БМ-3 (обмазочная) для сборных железобетонных прямоугольных водопропускных труб: 1 – звено трубы; 2 – подготовительный слой; 3 – битумная грунтовка; 4 – два слоя битумной мастики толщиной 2,5–3 мм; 5 – защитный слой толщиной 30 мм цементного бетона марки М-150

К поверхности изолируемых звеньев предъявляются все те же требования: она должна быть чистой и сухой. Нанесение грунтового слоя из битумного лака и двухслойного мастичного покрытия выполняют при помощи малярных инструментов. По второму слою мастики устраивают защитный слой из

мелкозернистого бетона толщиной не менее 40 мм.

На наружные поверхности трубы и оголовков, засыпаемые грунтом, выше обреза фундамента наносят обмазочную гидроизоляцию.





### 7.3. Приготовление битумной мастики для гидроизоляционных работ

Битумные лаки и мастики, применяемые при устройстве гидроизоляции водопропускных труб, приготавливаются централизованно на базах, а на строительную площадку транспортируют автогудронаторами или битумовозами. При необходимости лак и битумную мастику готовят на месте производства работ.

Битумная мастика приготавливается из нефтяного битума и других материалов, имеющих паспорта и дозируемых по массе в требуемых соотношениях применительно к составу для соответствующей климатической зоны.

Для приготовления битумной мастики используется битумоварочный закрытый котел-смеситель, который должен обеспечивать плавление, обезвоживание, нагрев битума до температуры 160–170 °С, а также его смешивание с вводимыми в мастику добавками индустриального масла и порошкообразного наполнителя.

Технология приготовления битумной мастики должна включать [29]:

- 1) измельчение нефтяного битума на куски размером 10–12 см;
- 2) дозировку битума в количествах, требуемых для заполнения котла на  $\frac{3}{4}$  его высоты;
- 3) загрузку котла битумом на  $\frac{1}{3}$  его высоты;
- 4) нагрев котла с указанным количеством битума и его обезвоживание;
- 5) загрузку в расплавленный, обезвоженный битум остального дозированного его количества;
- 6) форсированный нагрев обезвоженного битума до рабочей температуры;
- 7) дозировку пластифицирующей добавки индустриального масла и заливку его при вращающихся лопастях в котел-смеситель;
- 8) высушивание на электроплите с нагревом до 170 °С наполнителя асбеста № 7 (в необходимом случае) и дозировку его в количестве, требуемом на одну загрузку;
- 9) загрузку в котел при вращающихся лопастях необходимого количества указанного наполнителя.

Битумная мастика, нагретая до температуры 170 °С, считается готовой, если она однородная и имеет сметанообразную консистенцию, а на ее поверхности отсутствует пена [29]. После приготовления би-



тумную мастику на тележках транспортируют к месту гидроизоляционных работ [29]. В летний период транспортировку мастики выполняют в металлических расходных бачках вместимостью до 25 л, а зимой – в термосах, наполненных на  $\frac{3}{4}$  их высоты [29]. Бачки и термосы должны иметь откидные, плотно закрывающиеся крышки и две ручки [29].

#### **7.4. Устройство дополнительного антикоррозийного покрытия металлических гофрированных труб**

Основное антикоррозийное покрытие стандартных элементов выполняется толщиной 80 мкм из цинка марки ЦЗ по ГОСТ 3640-94 [32] на заводах. Дополнительное защитное покрытие делают из полимерных эмалей и битумных мастик. В зависимости от указаний, имеющихся в проекте, это покрытие устраивают либо только снаружи трубы, либо снаружи и изнутри [4, 9]. Вид защитного покрытия зависит от степени агрессивности воды и грунта в зоне трубы [4, 9]. По составу, толщине и количеству слоев различают восемь типов дополнительных покрытий – два эмалевых и шесть битумных [4, 9].

Дополнительное антикоррозионное защитное покрытие труб и их элементов выполняют различными материалами, к которым относят [4, 9]:

- ненаполненные битумные мастики, такие как пластбитулен, битудиен и пластбитудиен;
- наполненные битумно-минеральные и битумно-резиновые мастики;
- полимерные лакокрасочные материалы, которыми являются эпоксидно-каучуковая краска или эпоксидно-полиамидная эмаль;
- эпоксидно-каменноугольная эмаль;
- различные эпоксидно-каменноугольные лакокрасочные материалы.

Дополнительные битумные покрытия Б-1, Б-2 и Б-3 из наполненных мастик состоят из двух или трех слоев [4]. При любом типе битумного покрытия первым слоем является грунтовка, выполняемая битумным лаком толщиной 0,2–0,3 мм [4]. Для получения покрытия марки Б-1 второй слой выполняют толщиной 2 мм мастикой МБР-65 [4]. Для устройства покрытия марки Б-2 нужен третий слой толщиной 1,5–2 мм из битуминоли Н-1 или мастики МБР-90 [4]. Трехслойное битумное покрытие марки Б-3 выполняют нанесением по грунтовке



второго слоя толщиной 2 мм из битуминоли Н-2 и третьего слоя толщиной 1,5–2 мм из битуминоли Н-1 или мастики МБР-90 [4].

Независимо от марки дополнительного антикоррозионного защитного битумного покрытия вначале поверхность трубы или ее секций и соединительных элементов покрывают битумной грунтовкой [9]. Непосредственно перед нанесением грунтовки поверхность секций или труб очищается от всевозможных загрязнений, к которым относят грязь, пыль, наледь, масляные и нефтяные пятна. Твердые наслоения снимают металлическими щетками, а лед удаляют газовоздушными горелками, нефтяные пятна снимают ветошью, смоченной в бензине [9]. Очищенную поверхность осушают с помощью газовоздушных горелок [9]. Грунтовку наносят на сухую поверхность трубы сразу после ее очистки. При нанесении грунтовки не должно образовываться сгустков, подтеков и пузырей [9]. Для нанесения грунтовки применяют установку, состоящую из емкости с грунтовкой и распыляющей пневмофорсунки. В настоящее время широкое распространение получили пневматические и безвоздушные окрасочные установки. При их помощи можно выполнить грунтовку поверхности трубы и ее секций.

Наполненные битумно-резиновые мастики марок МБР-65 и МБР-90 приготавливают на заводах и транспортируют на строительную площадку. Эти мастики состоят из битумов, наполнителя и пластификатора. Мастика упакована в четырехслойный бумажный антиадгезионный мешок. Масса мастики в упаковке 30 кг. Перед применением мастика марки МБР-65 или МБР-90 извлекается из упаковки, размельчается и разогревается в подготовленных металлических емкостях [4, 9]. Возможен вариант разлива в металлические бочки 200 л.

Битумно-минеральные мастики (битуминоли) марок Н-1 и Н-2 также состоят из битумов, наполнителя и пластификатора. В качестве наполнителя для этих мастик рекомендуется асбест 37 [4]. При приготовлении таких мастик битум марки БН дробят и загружают в котел. В котле битум плавят, выполняя его постепенное нагревание до температуры 180 °С. Одновременно с плавлением битума производят смешивание порошков, измельченных каменных кислотостойких пород и асбеста № 7. Полученный комбинированный наполнитель подогревают до 110 °С [4]. Выполнив нагрев комбинированного наполнителя в горячем состоянии, постепенно добавляют его в расплавленную битумную массу с обязательным перемешиванием всей массы. В



процессе приготовления битумно-минеральных мастик строго соблюдают дозировку всех компонентов.

Нанесение мастики производится на подгрунтованную поверхность после окончания сборки трубы из отдельных элементов на месте производства работ или на секции, собираемые на базах. В последнем случае на месте производства работ по сооружению водопропускной трубы подгрунтовка и мастика наносятся только на соединительные элементы и места покрытия секций, поврежденные при транспортировке [4, 9]. Способ нанесения мастики зависит от показателей ее физико-механических свойств, отражаемых ее маркой.

Битумно-резиновую мастику марки МБР-65 рекомендуется наносить преимущественно ее пневмораспылением [9]. Для получения равномерного слоя толщиной 2 мм мастика транспортируется по шлангу и наносится форсункой, которая должна находиться на расстоянии не менее чем на 0,5 м и не более чем на 1,5 м от окрашиваемой поверхности [9].



Рис. 108. Нанесение мастики способом подливки

Битумно-минеральные мастики (битуминоли) марок Н-1 и Н-2, а также битумно-резиновую мастику марки МБР-90 можно наносить способом подливки [9]. Такой способ показан на рис. 108. В этом случае горячую мастику подают из лейки и сразу же разравнивают, перемещая ее вдоль гофра профилированными шпателями [9].

При устройстве дополнительных антикоррозийных битумных покрытий марок Б-1, Б-2 и Б-3 на секциях труб на их торцах оставляют полосы шириной 10 – 15 см, на которых не устраивают защитное покрытие [9]. Наличие необработанных полос облегчает установку соединительных элементов секций на строительной площадке.

Дополнительное защитное покрытие соединительных элементов, включая поперечные и продольные стыки, выполняется такими же материалами, которыми защищены элементы трубы. Дополнительное защитное покрытие (грунтовка, мастика), начатое на отдельном участке трубы, необходимо полностью закончить в течение рабочего дня [9]. Покрытие следует наносить послойно; каждый слой мастики дол-





жен наноситься на застывший предыдущий слой. На внутреннюю поверхность трубы защитное покрытие следует наносить после завершения работ на наружной поверхности трубы.

Для нанесения ненаполненных мастик (пластбитулена, битудиена и пластбитудиена) применяют способ погружения [9]. При реализации этого способа элементы или секции трубы погружают в расплав мастики [9]. Такой способ нанесения покрытия реализуют на заводах или полигонах в специальных обогреваемых емкостях [9]. Емкости снабжаются подъемно-транспортными средствами для перемещения, загрузки и извлечения элементов или секций. При загрузке в емкости элементы крепят к специальным траверсам, используя болтовые отверстия, или размещают в контейнерах. Секции загружают только с применением траверс.

Требуемое время выдержки элементов и секций в расплаве битумной мастики зависит от температуры, необходимой для полного прогрева элементов и количества одновременно погружаемых элементов.

Способом погружения наносится дополнительная антикоррозийная защита на крепёж. Болты с наваренными на концевую часть их резьбы гайками и отдельно шайбы погружают в битумную грунтовку. В качестве грунтовки используется раствор из ненаполненных мастик (пластбитулена, битудиена или пластбитудиена) в соответствующем бензине [9].

Эмали наносятся на заводах на все элементы, предназначенные для монтажа труб. Для нанесения такого покрытия на базе необходимо подготовить специальное помещение и снабдить его необходимым оборудованием [4]. Работы начинают с подготовки оцинкованных элементов трубы, которые должны быть очищены от загрязнений, высушены и обезжирены. Обезжиривание производится при помощи каустической соды, уайт-спирита, ацетона или других растворителей с последующей промывкой элементов водой [4]. После сушки и нагрева элементов до температуры 40–50 °С наносят эмаль на защищаемые поверхности преимущественно распылением [4]. Для нанесения эмали применяют пистолеты-распылители, предназначенные для высоковязких составов [4].



## Контрольные вопросы и задания

1. Какие виды работ выполняют при гидроизоляции? Назовите ограничения по погодным условиям.
2. Опишите технологию заделки стыков между звеньями труб.
3. Опишите технологию устройства обмазочной изоляции звеньев. Какие конструкции этого типа изоляции вы знаете?
4. Опишите технологию устройства оклеечной изоляции звеньев. Какие конструкции этого типа изоляции вы знаете?
5. Опишите технологию производства работ при ликвидации дефектов гидроизоляции.
6. Опишите технологию устройства дополнительного антикоррозийного покрытия для металлических гофрированных труб.

## 8. ЗАСЫПКА ТРУБ ГРУНТОМ

### 8.1. Засыпка грунтом бетонных и железобетонных водопропускных труб

Засыпку грунтом бетонных и железобетонных труб можно производить после освидетельствования всех элементов трубы и качества выполненной гидроизоляции [33]. При засыпке трубы вначале следует отсыпать грунтовую призму с двух сторон трубы, а затем насыпь на проектную высоту [14, 34]. Засыпку трубы грунтом выполняют до возведения насыпи [14]. Для засыпки используют мягкий, хорошо уплотняемый грунт [34]. Засыпку трубы грунтом выполняют одновременно с обеих сторон горизонтальными слоями толщиной 15 – 20 см [14, 34]. Ширина засыпки трубы с каждой ее стороны должна быть не менее 4 м [14].

На рис. 109 представлен фрагмент процесса уплотнения грунта у поверхности трубы. Вблизи трубы грунт тщательно уплотняют при помощи легких электрических трамбовок или вибрационных плит. Ширина зоны такого уплотнения принимается не менее 30 см, над трубой толщина слоя грунта, уплотняемого средствами малой механизации, должна быть не менее 0,5 м [14, 34].



Каждый слой в оставшейся части грунтовой призмы уплотняют продольными по отношению к трубе проходами катков (рис. 110) или средствами вибрационного, виброударного или ударного действия [14]. Расстояние от контура уплотняющей машины (или ее рабочего органа) до стенки трубы должно быть не менее 30 см.

Не допускается уплотнять грунт тяжелыми машинами ударного действия на расстоянии от боковых стенок трубы менее 3 м при высоте засыпки над трубой менее 2 м [14].

При засыпке железобетонных труб следует наблюдать за сохранностью стыков.

Грунтовую призму сооружают под контролем представителей операционного контроля и технического надзора. Законченную грунтовую призму оформляют актом [14].

При засыпке грунтом труб в стесненных условиях для уплотнения грунта применяют катки на пневматических шинах массой до 12 т [14]. Слои грунта отсыпают соответствующей толщиной, а уплотнение выполняют поперечными по отношению к оси трассы проходами [14]. В этом случае расстояние от края вальца катка до поверхности трубы должно быть не менее толщины уплотняемого слоя [14]. Высо-



Рис. 109. Уплотнение грунта у поверхности трубы вибрационной плитой



Рис. 110. Уплотнение грунта в грунтовой призме продольными проходами кулачкового катка



та засыпки по сторонам трубы не должна отличаться более чем на один слой [14]. Засыпка трубы в целом должна опережать на один слой устройство насыпи на прилегающей площади при выполнении засыпки трубы одновременно с возведением всей насыпи на данном участке [14].

Переезд через сооружаемую трубу транспортных средств допускается только в случае отсыпки поверх трубы слоя грунта толщиной не менее 1 м, а для бульдозеров – не менее 0,5 м [34].

Особое внимание необходимо уделять качеству уплотнения грунта в труднодоступных местах, т. е. в нижних четвертях звеньев круглых труб и в местах перехода звеньев в оголовки [14].

При расположении труб на склонах засыпку начинают с низовой стороны [14]. Уровень засыпки с низовой стороны должен всегда превышать уровень грунта с верховой [14].

## **8.2. Засыпка грунтом металлических гофрированных водопропускных труб**

Металлическая гофрированная труба должна быть засыпана грунтом не позднее чем через трое суток после окончания работ по нанесению дополнительного защитного покрытия [4, 9].

Засыпку МГТ необходимо выполнять с опережением возведения земляного полотна [4, 9]. Как исключение при возведении насыпей в них допускается оставлять прогалы для дальнейшей постройки МГТ, необходимость такой организации строительства должна быть обоснована проектом. При такой организации строительства необходимо рассчитывать ширину прогала (в свету) понизу, которая назначается из расчета обеспечения расстояния между основанием откоса насыпи и стенкой трубы на уровне горизонтального диаметра не менее 4 м [9].

Процесс устройства грунтовой призмы у трубы должен включать следующие виды работ:

- 1) транспортировку грунта из карьера или резерва к трубе автосамосвалами или скреперами;
- 2) разравнивание грунта бульдозером слоями заданной толщины;
- 3) послойное уплотнение грунта грунтоуплотняющими машинами, а в непосредственной близости от трубы ручными механизированными трамбовками;
- 4) штыковку грунта в гофрах трубы;
- 5) контроль плотности засыпки.





Области грунтовой призмы, расположенные на расстоянии более 1 м от стенки трубы в уровне ее горизонтального диаметра, можно уплотнять любым грунтоуплотняющим средством, используемым при уплотнении дорожных насыпей [4, 9].

Засыпку трубы выполняют наклонными от трубы слоями. Уклон отсыпаемых слоев должен быть не круче 1:5, толщина технологических слоев назначается в зависимости от грунтоуплотняющих средств. Схема засыпки и уплотнения трубы приведена на рис. 111 [9].

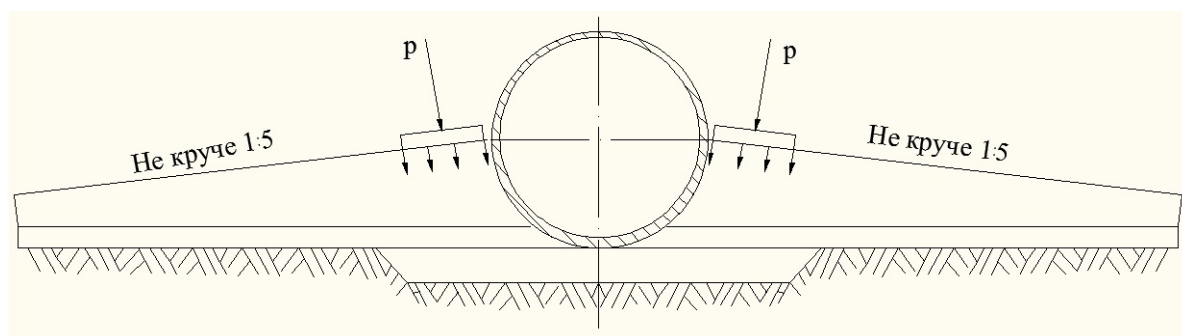


Рис. 111. Схема засыпки и уплотнения грунта наклонными слоями

В табл. 10 приведена толщина технологических слоев отсыпaeмой грунтовой призмы, которую следует принимать в зависимости от средства уплотнения [4, 9].

Таблица 10

**Толщина технологического слоя в зависимости  
от средства его уплотнения**

Наименование уплотнителя	Толщина слоя, м
Ручные электрические трамбовки и вибрационные плиты	0,15
Катки на пневматических шинах массой 25 – 30 т	0,2
Грунтоуплотняющие машины виброударного действия	0,3 – 0,6



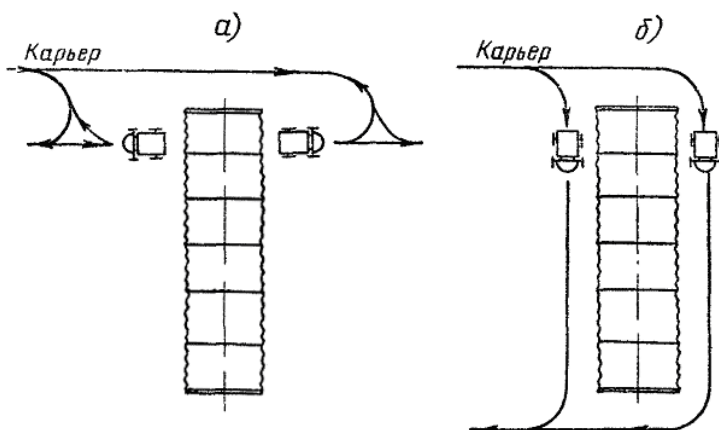


Рис. 112. Схемы движения автосамосвалов в процессе отсыпки грунта: *а* – с разворотом самосвалов перед трубой; *б* – с кольцевым движением самосвалов

Доставку грунта, применяемого для устройства грунтовой призмы, производят по одной из двух схем, представленных на рис. 112 [4, 9].

В соответствии с первой схемой организации движения самосвалов выполняют разворот перед трубой, а грунт подается под разгрузку задним

ходом (рис. 112, *а*). Для реализации второй схемы организуют кольцевое движение самосвалов с въездом и съездом со стороны откосов насыпи (рис. 112, *б*).

Отсыпку технологических слоев в прогалах выполняют бульдозерами. Для этого грунт, доставленный самосвалами, выгружается с обеих сторон от трубы. Бульдозерами грунт перемещают и разравнивают в слой. Во всех случаях отсыпку грунта слоями начинают от трубы по всей ее длине.

При засыпке МГТ грунт одновременно укладывают с обеих сторон трубы [9]. Далее производят разравнивание грунта вначале с одной стороны, а затем с другой [9]. После выполнения операции по разравниванию грунта в технологическом слое приступают к его уплотнению с одной стороны трубы [4, 9]. Завершив операцию уплотнения грунта с одной стороны трубы, бульдозер производит отсыпку второго технологического слоя, в это время с другой стороны выполняют уплотнение грунта. В таком же порядке осуществляют отсыпку и уплотнение всех последующих слоев до верха трубы [4, 9].

В тех случаях, когда уплотнение грунта выполняют продольными относительно трубы проходами, операцию начинают выполнять с наиболее удаленных от трубы участков. С каждым последующим проходом уплотнитель приближается к стенкам трубы. Грунт, расположенный у стенок трубы, уплотняется только тогда, когда с противоположной ее стороны уже отсыпан слой грунта этого же горизонта по всей длине трубы [4, 9].



Вокруг трубы рекомендуется производить уплотнение грунта машиной виброударного действия для стесненных условий [9]. При уплотнении слоев, расположенных ниже горизонтального диаметра трубы, машина должна передвигаться вдоль трубы. Последовательность отсыпки слоев, их толщина и допустимое приближение к трубе рабочих органов уплотняющих машин приведены на рис. 113 и 114.

При устройстве грунтовой призмы до возведения насыпи или в широком прогале уплотнения технологических слоев, расположенных выше горизонтального диаметра трубы, применяют челночную схему работы машины виброударного действия.

При уплотнении грунтовой призмы МГТ особое внимание уделяется трамбовке грунта у стенок трубы и в гофрах. Уплотняя эту область грунтовой призмы, электротрамбовки и вибрационные плиты нужно располагать на расстоянии 5 см от гребней гофров. В гофрах грунт уплотняют штыкованием, которое выполняют при помощи деревянной штыковки диаметром 8 см.

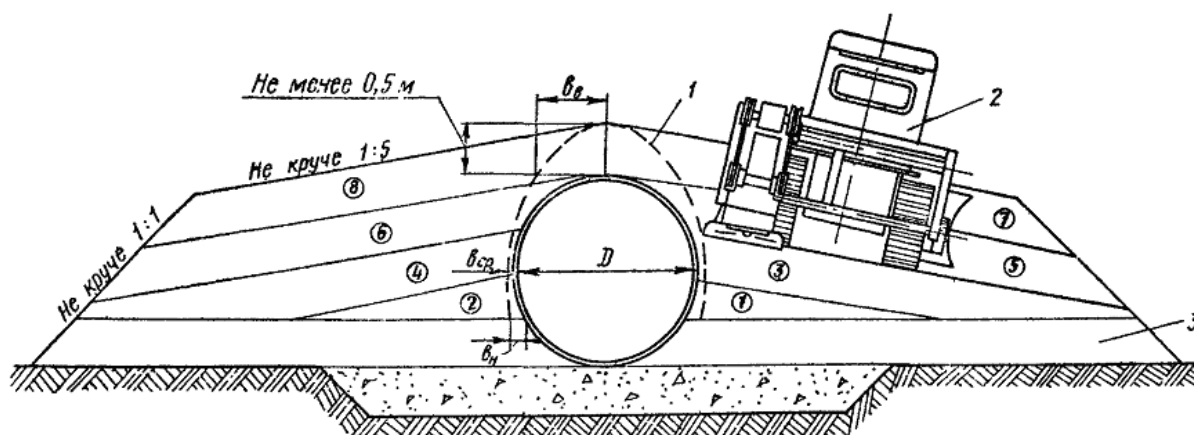


Рис. 113. Технологическая последовательность и схема послойного уплотнения грунта засыпки труб виброударной машиной для стесненных условий:

1, 2 и т.д. (в кружках) – номера слоев в технологическом порядке их отсыпки; 1 – контур максимального приближения рабочего органа машины к стенке трубы; 2 – виброударная грунтоуплотняющая машина Рижского РМЗ; 3 – нулевой слой;  $v_n$  и  $v_{cp}$  – максимальные приближения рабочего органа к стенке трубы на разных уровнях, равные:

для  $D = 1$  м  $v_n = 0,15$  м;  $v_{cp} = 0,05$  м;  $v_g = 0,4$  м;

для  $D = 1,5$  м  $v_n = 0,20$  м;  $v_{cp} = 0,05$  м;  $v_g = 0,5$  м;

для  $D = 2$  м  $v_n = 0,30$  м;  $v_{cp} = 0,05$  м;  $v_g = 0,7$  м;

для  $D = 3$  м  $v_n = 0,40$  м;  $v_{cp} = 0,05$  м;  $v_g = 1,1$  м



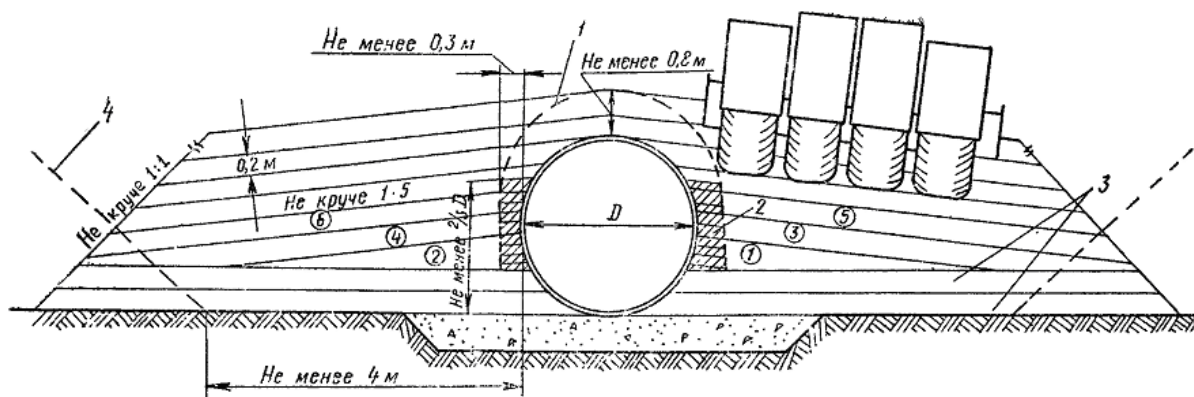


Рис. 114. Технологическая последовательность и схема послойного уплотнения грунта засыпки труб пневмокатками:

- 1, 2 и т.д. (в кружках) – номера слоев в технологическом порядке их отсыпки; 1 – граница максимального приближения скатов катка к трубе; 2 – грунт, уплотняемый ручными механизированными трамбовками; 3 – нулевой слой; 4 – линии очертания границ торцов насыпи в случае устройства трубы в прогале

В процессе уплотнения грунта катком последний должен перемещаться вдоль трубы по кольцевой схеме. Приближение скатов катка к трубе допускается на расстояние не менее 0,3 м. Грунт у стенок трубы при данной технологии необходимо уплотнять ручными электротрамбовками.

Уплотнение грунта в пазухах многоочковых труб рекомендуется производить механизированными ручными трамбовками с обязательным соблюдением последовательности отсыпки слоев (рис. 115). Толщина слоя в пазухе не должна превышать 0,15 м. Для засыпки пазух грунтом следует использовать универсальные экскаваторы-планировщики типа Э-4010, экскаватор «Беларусь» и драглаины.

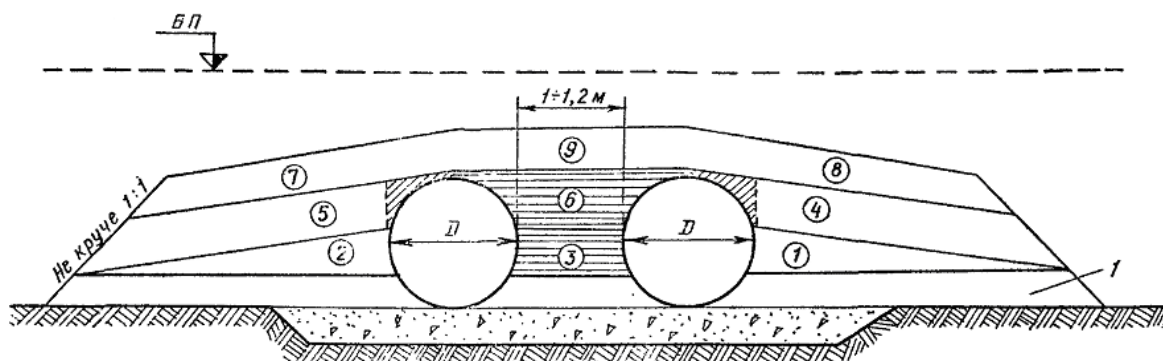


Рис. 115. Технологическая последовательность и схема послойного уплотнения грунта засыпки многоочковых труб:

- 1, 2 и т.д. (в кружках) – номера слоев в технологическом порядке их отсыпки





В зимних условиях трубы следует засыпать только талыми (сухими несмерзшимися) грунтами, при этом рекомендуются грунтоуплотняющие машины ударного и виброударного действия. Допустимое время рабочего цикла от момента разработки грунта до окончания его уплотнения не должно превышать времени, в течение которого грунт сохраняет способность к уплотнению.

### 8.3. Уплотнение грунта катками

Укатка – это наиболее эффективный и распространенный метод уплотнения грунтов, для которого применяют катки на пневматических шинах, вибрационные гладковальцовые, кулачковые и решетчатые.

Наибольшее распространение в дорожном строительстве получили катки на пневматических шинах. Они дают лучшее качество уплотнения, наибольшую производительность и наименьшую стоимость. Рабочим органом таких катков является пневматическая шина. Жесткость шины зависит от давления сжатого воздуха в ней и жесткости покрышки. При нагружении катка шина деформируется. Площадь отпечатка пневматического колеса значительно больше площади отпечатка вальцов жесткобарабанных катков.

На рис. 116 – 119 приведены катки, применяемые для уплотнения грунтов земляного полотна.

У гладковальцовых катков площадь контакта с поверхностью уплотняемого технологического слоя сравнительно мала. Поэтому они по сравнению с катками на пневматических шинах передают на технологический слой более высокое давление. Однако сравнительно небольшая площадь контакта вальца с поверхностью уплотняемого слоя обуславливает интенсивное затухание напряжений по глубине слоя. Вследствие этого гладковальцовые катки уплотняют слои меньшей толщины, чем катки на пневматических шинах.





Рис. 116. Каток на пневматических шинах



Рис. 117. Кулачковый каток Caterpillar CP74



Рис. 118. Грунтовый вибрационный каток Caterpillar CS76 XT



Рис. 119. Фрагмент вальца решетчатого катка

Другим преимуществом катков на пневматических шинах перед гладковальцовыми катками является более длительное воздействие пневматических шин на грунт. Это обуславливает то, что величина вязкопластической деформации, развивающейся в грунте от воздействия пневматических катков, выше по сравнению с деформацией ползучести от гладковальцового катка.

Такие два преимущества пневматических катков делают применение статических гладковальцовых катков для уплотнения грунтов нецелесообразным. В связи с этим уплотнение грунтов земляного полотна выполняют вибрационными гладковальцовыми катками, у которых влияние вибрации компенсирует отмеченные нами недостатки за счет тиксотропного уплотнения.

Эпюры напряжений в грунте при его укатке гладковальцовыми катками на пневматических шинах приведены на рис. 120 [35].



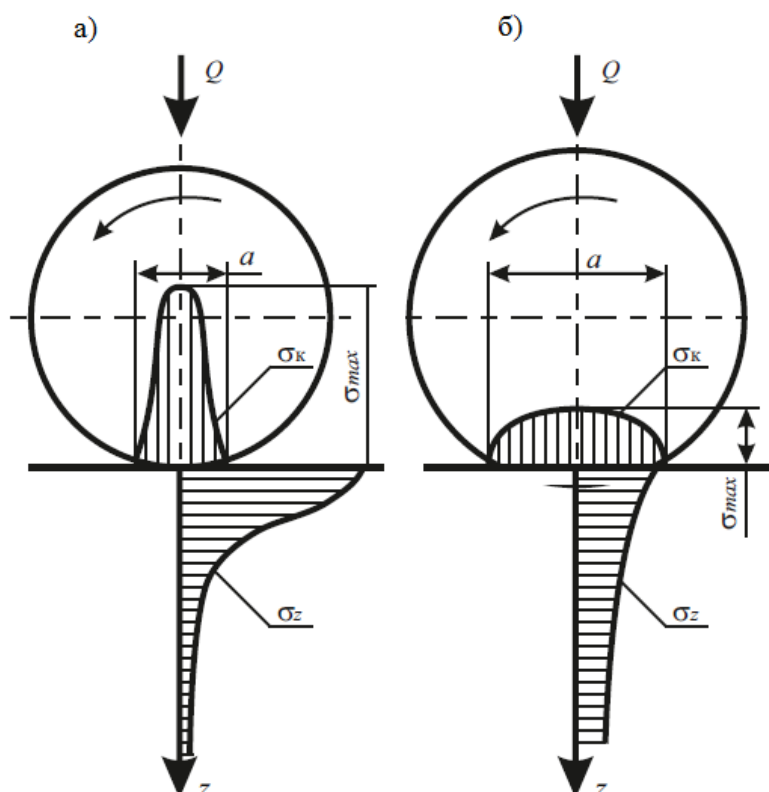


Рис. 120. Эпюры напряжений в грунте при укатке:  
 $a$  – гладковальцовым катком;  $b$  – катком на пневматических  
 шинах;  $a$  – длина отпечатка;  $\sigma_k$  – контактное давление;  
 $\sigma_{\max}$  – максимальное удельное напряжение;  $\sigma_{kz}$  – вертикальное  
 нормальное напряжение;  $Q$  – нагрузка на валец

Катки на пневматическом ходу применяют для уплотнения относительно мощных слоев связных грунтов, требующих большого времени воздействия уплотнителя [35]. Это обстоятельство определяет область эффективного применения катков на пневматических шинах. Их используют для укатки относительно мощных технологических слоев грунта (связные грунты толщиной до 30 см, несвязные – 40 см) с резко выраженными вязкими свойствами, для которых время действия катка играет значительную роль, а предельные сопротивления грунта уплотнению сравнительно невелики. Эффект от уплотнения катками на пневматических шинах определяется особенностями взаимодействия пневматического колеса и уплотняемого грунта [35].

По мере укатки (увеличения числа проходов катка) увеличиваются плотность сухого грунта, модуль деформации (упругости) и параметры предельной прямой Кулона – Мора (сцепление и угол внутреннего трения грунта) [36], сопротивление уплотнению (так называемая структурная прочность грунта) [37], а площадь отпечатка пневмати-



ческой шины уменьшается [35]. Вследствие этого возрастают максимальные средние удельные давления на грунт по площади отпечатка (см. рис. 120). Это является важным обстоятельством потому, что увеличение сопротивления уплотнению компенсируется возрастающими контактными давлениями.

Мощность двигателя уплотнителя, необходимая для перекатывания пневматического колеса, катка по грунту, расходуется на деформирование грунта и сжатие шины. Поскольку по мере уплотнения деформации грунта уменьшаются, потребная мощность двигателя катка с возрастанием проходов также уменьшается [35].

При уплотнении грунтов особое значение приобретают их влажность и степень уплотнения. Рассуждая о требуемой степени уплотнения грунта, необходимо отметить, что с увеличением плотности сухого грунта количество структурных связей увеличивается, а показатели механических свойств грунтов улучшаются [36]. В количественном отношении зависимость показателей механических свойств грунтов от коэффициента уплотнения и влажности можно представить эмпирическими формулами В.М. Сиденко, О.Т. Батракова и Ю.А. Покутнева [36]. Эти формулы связывают значения штампового модуля упругости и параметров линейной зависимости Кулона – Мора с относительной влажностью и коэффициентом уплотнения (табл. 11).

Таблица 11

### Формулы для расчета показателей механических свойств грунта

Разновидность грунта	Формула	
Для ориентировочного расчета штампового модуля упругости, МПа		
Суглинки и глины	$E = 35046 \cdot k_y^{1,5} \cdot e^{\left(8,36 \cdot W^2 - 15,78 \cdot W\right)}$	
Супеси легкие непылеватые	$E = 209 \cdot k_y^{1,5} \cdot e^{\left(1,627 \cdot W^2 - 3,56 \cdot W\right)}$	
Супеси крупные	$E = 82 \cdot k_y^{1,5} \cdot e^{\left(0,4 \cdot W^2 - 0,72 \cdot W\right)}$	
Для ориентировочного расчета параметров линейной зависимости Кулона – Мора, называемых сцеплением $C$ и углом внутреннего трения $\varphi$		
Суглинки, глины и супеси пылеватые	$C = 0,034 \cdot k_y^{1,5} \cdot e^{\left(3,94 \cdot W - 6,81 \cdot W^2\right)}$	$\varphi = 58,6 \cdot (1 - W) \cdot k_y$
Супеси легкие непылеватые	$C = 0,202 \cdot k_y^{1,5} \cdot e^{\left(4,6 \cdot W^2 - 7,58 \cdot W\right)}$	$\varphi = 43 \cdot (1 - 3 \cdot W) \cdot k_y$

*Примечание.*  $W$  – относительная влажность, определяемая отношением влажности грунта  $W_e$  к влажности на границе текучести  $W_m$  ( $W = W_e / W_m$ ).





Коэффициент уплотнения определяется по формуле

$$k_y = \frac{\rho_d}{\rho_{d(\max)}}, \quad (4)$$

где  $\rho_d$  – плотность сухого грунта в теле земляного сооружения т/м<sup>3</sup>;  $\rho_{d(\max)}$  – максимальная плотность сухого грунта, определяемая стандартными испытаниями, т/м<sup>3</sup>.

Используя зависимости табл. 11, можно показать, что увеличение коэффициента уплотнения приводит к росту других параметров прочности и деформируемости грунта. Например, в соответствии с механикой сплошной среды упругие постоянные, применяемые для определения НДС, связаны формулами, представленными в табл. 12.

Таблица 12

**Зависимости между упругими постоянными**

Постоянные	Основная пара				
	$\lambda, \nu$	$G, \mu$	$K, G$	$E, \mu$	$E, G$
$\lambda$	$\lambda$	$\frac{2 \cdot G \cdot \mu}{1 - 2 \cdot \mu}$	$K - \frac{2}{3} \cdot G$	$\frac{E \cdot \mu}{(1 + \mu) \cdot (1 - 2 \cdot \mu)}$	$\frac{G \cdot (E - 2 \cdot G)}{3 \cdot G - E}$
$\nu$	$\nu$	$G$	$G$	$\frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)}$	$G$
$G$	$\nu$	$G$	$G$	$\frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)}$	$G$
$E$	$\frac{\nu \cdot (3 \cdot \lambda + 2 \cdot \nu)}{\lambda + \nu}$	$2 \cdot G \cdot (1 + \mu)$	$\frac{9 \cdot K \cdot G}{3 \cdot K + G}$	$E$	$E$
$K$	$\lambda + \frac{2 \cdot \nu}{3}$	$\frac{2 \cdot G \cdot (1 + \mu)}{3 \cdot (1 - 2 \cdot \mu)}$	$K$	$\frac{E \cdot \mu}{3 \cdot (1 - 2 \cdot \mu)}$	$\frac{G \cdot E}{9 \cdot G - 3 \cdot E}$
$\mu$	$\frac{\lambda}{2 \cdot (\lambda + \nu)}$	$\mu$	$\frac{3 \cdot K - 2 \cdot G}{6 \cdot K + 2 \cdot G}$	$\mu$	$\frac{E}{2 \cdot G} - 1$

*Примечание.*  $\lambda$  и  $\nu$  – постоянные Ляме, Па;  $G$  – модуль сдвига или поперечной упругости;  $K$  – объемный модуль упругости, Па;  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

Примем, что коэффициент Пуассона – величина постоянная, например, для супесей  $\mu=0,3$ ; суглинков  $\mu=0,35$  и глин  $\mu=0,42$ . Тогда для суглинков и глин модуль сдвига можно определить по формуле



$$G = \frac{E_W \cdot k_y^{1,5}}{2 \cdot (1 + \mu)} = G_W \cdot k_y^{1,5}; \quad E_W = a \cdot 35046 \cdot e^{(8,36 \cdot W^2 - 15,78 \cdot W)}, \quad (5)$$

где  $E_W$  и  $G_W$  – модуль упругости и модуль сдвига при произвольной относительной влажности, Па;  $a$  – поправочный коэффициент для перехода от штампового модуля к продольному модулю упругости при одноосном сжатии, который может быть рассчитан по формуле Н.Н. Иванова, а может быть установлен экспериментально по аналогии с коэффициентами Агишева (эти коэффициенты используют для перехода от компрессионного модуля деформации к штамповому).

Используя эту основную пару деформационных характеристик, получим формулы:

$$\begin{aligned} \nu &= G = \frac{E_W \cdot k_y^{1,5}}{2 \cdot (1 + \mu)} = G_W \cdot k_y^{1,5}; \\ \lambda &= \frac{G_W \cdot k_y^{1,5} (E_W \cdot k_y^{1,5} - 2 \cdot G_W \cdot k_y^{1,5})}{3 \cdot G_W \cdot k_y^{1,5} - E_W \cdot k_y^{1,5}} = \lambda_W \cdot k_y^{1,5}; \\ K &= \frac{G_W \cdot k_y^{1,5} \cdot E_W \cdot k_y^{1,5}}{9 \cdot G_W \cdot k_y^{1,5} - 3 \cdot E_W \cdot k_y^{1,5}} = K_W \cdot k_y^{1,5}. \end{aligned} \quad (6)$$

Таким образом, степень уплотнения грунта оказывает существенное влияние на любую деформационную характеристику. Чем выше плотность сухого грунта, тем больше величина деформационной характеристики и меньше деформации земляного полотна.

Требуемые значения коэффициента уплотнения регламентируются СП 34.13330.2012 [18]. Из анализа этих данных вытекает, что в зависимости от природно-климатических условий (ДКЗ) и условий эксплуатации дорожной конструкции (тип одежды и элемент земляного полотна) выдвигаются различные требования по степени уплотнения. Здесь возникает вполне резонный вопрос: «Почему не принять одинаковые требования к степени уплотнения?» Казалось бы, раз уплотнение столь позитивно сказывается на деформационных и прочностных характеристиках, требования по коэффициентам уплотнения должны быть максимально возможные.



По мнению авторов, различие в требованиях к величине коэффициента уплотнения необходимо по двум основным причинам. Во-первых, уплотнение является достаточно энергоемким процессом. Поэтому в тех элементах земляного полотна, в которых возникают наибольшие напряжения и имеет место наибольшее увлажнение, следует предусматривать наибольшие требуемые коэффициенты уплотнения. В менее увлажненных элементах земляного полотна, а также в элементах с меньшими напряжениями такие высокие коэффициенты уплотнения не требуются, поэтому для уменьшения энергоемкости уплотнения требования могут быть ниже. Во-вторых, деформации морозного пучения и набухания приводят к уменьшению плотности сухого грунта. Поэтому если уплотнить грунт до коэффициентов  $1 > k_y \geq 1,1$  и не предусмотреть в конструкции земляного полотна мероприятий по недопущению увлажнения грунта, то со временем (2–3 года) коэффициенты уплотнения уменьшатся. В этом случае энергия, затраченная на переуплотнение грунта, будет израсходована зря.

На рис. 121 представлены напряжения, возникающие в земляном полотне.

Из анализа данных рис. 121 следует, что напряжения от транспортной нагрузки уменьшаются по глубине, принимая максимальные значения на поверхности земляного полотна и минимальные на нижней границе сжимаемой толщи. На поверхности напряжения от собственного веса имеют наименьшие значения, величины которых обусловлены весом дорожной одежды. На нижней границе сжимаемой толщи напряжения от собственного веса принимают наибольшие значения, учитываемые при расчетах. Суммирование напряжений приводит к тому, что с глубиной суммарное напряжение вначале уменьшается, что обусловлено интенсивным уменьшением составляющей от транспортной нагрузки и медленным ростом от собственного веса. По мере увеличения глубины интенсивность снижения суммарного напряжения уменьшается; достигнув определенной глубины, суммарное напряжение начинает возрастать. Отсюда следует, что в верхней части земляного полотна, а также нижней части высоких насыпей степень уплотнения грунта должна быть наибольшей.



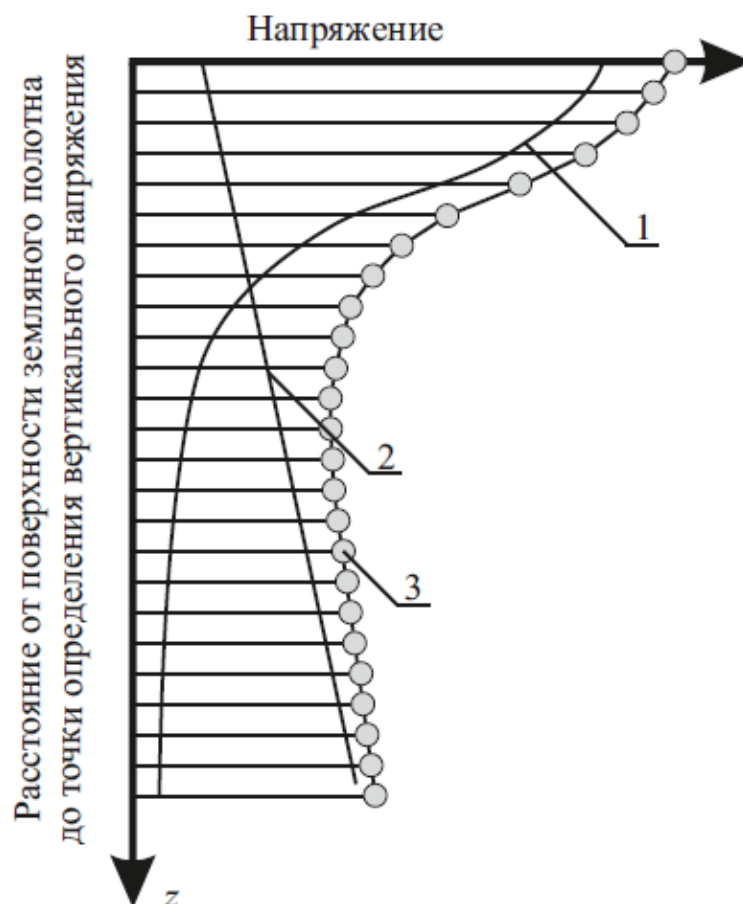


Рис. 121. Эпюры изменения нормального вертикального напряжения по глубине земляного полотна: 1 – от транспортной нагрузки; 2 – собственного веса дорожной одежды и грунта земляного полотна; 3 – суммарная от транспортной нагрузки и собственного веса

Влажность грунта по глубине земляного полотна изменяется аналогичным образом, имея наибольшие значения в верхней и нижней частях насыпей. Поэтому эти зоны нуждаются в большей степени уплотнения. В связи с этим различия в требованиях, выдвигаемых в СП 34.13330.2012 [18] к коэффициентам уплотнения грунта в разных областях насыпей, являются вполне логичными.

Зависимость энергоемкости от степени уплотнения грунта можно проследить на примере лабораторных работ по определению максимальной плотности грунта стандартным (оригинальным) и модифицированным методами Р. Проктора. Кривые уплотнения, отображающие результаты испытаний по оригинальному и модифицированному методу Р. Проктора, приведены на рис. 122.







Рис. 122. Определение максимальной плотности по оригинальному и модифицированному Проктор-тесту

Регламент таких испытаний приводится в нормативных документах различных стран. Например, в США тесты по оригинальному методу Р. Проктора регламентируются стандартами ASTM D698-12e1 [50] и AASHTO T99-10<sup>1</sup> [46], а регламент испытаний модифицированным методом Р. Проктора приводится в стандартах ASTM D1557-12 [48] и AASHTO T180-10 [45]. Испытания оригинальным и модифицированным методами состоят в том, что послойное уплотнение грунта выполняется в три и пять слоев соответственно при 25 ударах груза по каждому слою. Масса груза в оригинальном методе составляет 5,5 фунтов, а в модифицированном – 10 фунтов. Из анализа данных рис. 122 следует, что при одинаковой влажности модифицированный метод приводит к более высокой плотности сухого грунта, но и энергетические затраты по этому методу выше.

<sup>1</sup> В США действуют две группы стандартов. Одну группу стандартов составляют нормативные документы ASTMs (American Society for Testing and Materials), а другую – AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).



Анализ данных рис. 122 позволяет сделать вывод, что при увеличении максимальной плотности происходит уменьшение оптимальной влажности. Снижение влажности влечет увеличение сопротивления деформированию. Поэтому назначение требуемой степени уплотнения грунта должно преследовать цель обеспечения устойчивости земляного сооружения к внешним воздействиям при минимуме энергетических затрат на уплотнение.

Для раскрытия влияния влажности грунта на степень уплотнения обозначим процессы, происходящие в грунте при его уплотнении. Для этого необходимо рассматривать структуру грунтов и ее изменение в процессе уплотнения.

При уплотнении дисперсных грунтов вода не успевает отжаться из зон контактов между агрегатами и частицами. Это объясняется тем, что для фильтрации воды через тонкие поры требуется определенное время. Поэтому уплотнение грунтов при воздействии циклических кратковременных нагрузок в основном происходит из-за вытеснения воздуха, вследствие чего минеральные частицы сближаются, а поры уменьшаются [38].

При уплотнении работа затрачивается на преодоление трения между частицами и агрегатами, а также на их перемещение. Если влажность грунта мала, то добавление в него воды уменьшает трение между частицами и агрегатами, а также способствует размягчению и растворению неводостойких кристаллизационных связей. Эти эффекты облегчают перемещение частиц и способствуют их более тесной укладке при той же затраченной работе. Поэтому с увеличением содержания воды в грунте до определенного предела плотность скелета увеличивается. В любом грунте существует связанная система воздушных пор, сообщающихся с атмосферой. В результате уплотнения нагрузкой воздух вытесняется в атмосферу, а объем такой системы пор постепенно уменьшается [38]. Вследствие этого грунт упрочняется, а зависимость деформации уплотнения от количества воздействий нагрузок имеет затухающий характер.

При чрезмерной влажности смазывающий эффект уже не увеличивается, а вода препятствует сближению частиц и даже приводит к их раздвижке. Это объясняется тем, что при воздействии нагрузки в грунте возникает поровое давление, которое хотя и приводит к уменьшению эффективных напряжений, но снижает жесткость грунта за счет раздвижки минеральных частиц. Поэтому зависимость плотности скелета от влажности грунта имеет максимум (см. рис. 122).



Влажность грунта, при которой в лабораторном приборе стандартного уплотнения достигается максимальная плотность сухого грунта  $\rho_{d(max)}$ , называют оптимальной влажностью  $W_o$ .

Здесь отметим, что в соответствии с формулой (4) максимальной стандартной плотности соответствует значение коэффициента уплотнения  $k_y=1$ . Коэффициенты уплотнения меньше 1 можно получить при влажности, отличающейся от оптимального значения, причем чем меньше требуемое значение коэффициента уплотнения, тем больше интервал варьирования влажности, в котором можно выполнить такое уплотнение. При этом необходимо иметь в виду, что, оценивая пригодность грунта для уплотнения по влажности, принято оперировать понятием «коэффициент увлажнения». Коэффициент увлажнения представляет собой отношение влажности грунта  $W_e$  к его оптимальной влажности и определяется по формуле

$$k_{ув} = W_e / W_o . \quad (7)$$

Допускаемые значения коэффициентов увлажнения регламентируются в СП 78.13330.2012 [20] и приведены в табл. 13.

Таблица 13

**Допускаемые значения коэффициентов увлажнения**

Вид грунта	Влажность при требуемом коэффициенте уплотнения		
	1-0,98	0,95	0,90
Пески пылеватые, супеси легкие и крупные	Не более 1,35	Не более 1,6	Не нормируется
Супеси тяжелые пылеватые и суглинки легкие и легкие пылеватые	0,85 - 1,15	0,8 - 1,2	0,75 - 1,4
Суглинки тяжелые и тяжелые пылеватые, глины	0,95 - 1,05	0,9 - 1,1	0,85 - 1,2

Для того чтобы получить количественные зависимости плотности скелета грунта от влажности, а следовательно, и зависимости коэффициента уплотнения от коэффициента увлажнения, необходимо выполнить лабораторные испытания. Выполнив испытания в соответствии с требованиями ГОСТ 22733-2002 [19] и вычислив по полученным результатам коэффициенты уплотнения и увлажнения, можно построить график, показанный на рис. 123.



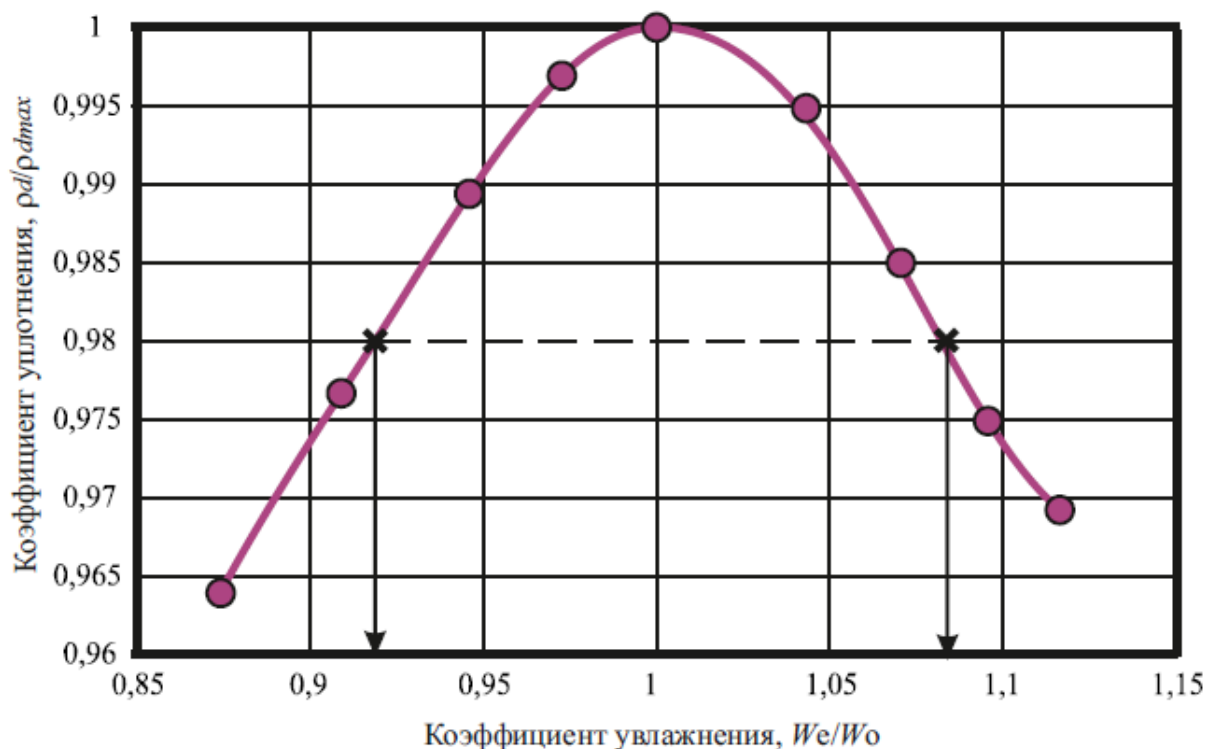


Рис. 123. Зависимость коэффициента уплотнения грунта от коэффициента увлажнения

Из анализа данных рис. 123 следует, что коэффициент уплотнения, равный 1, достигается при коэффициенте увлажнения, равном 1, а коэффициент уплотнения 0,98 может быть получен при вариации коэффициента увлажнения от 0,92 до 1,08. Продолжая анализировать данные рис. 123, нетрудно заметить, что чем ниже значение коэффициента уплотнения, тем больше диапазон варьирования допускаемого коэффициента увлажнения. Таким образом, данные табл. 13 полностью подтверждаются данными эксперимента.

Следовательно, при уплотнении грунтов до коэффициентов уплотнения, меньших 1, влажность грунта может отличаться от оптимальной величины, но должна находиться в строго определенных пределах, при которых коэффициент увлажнения грунта не выходит за рамки значений, указанных в табл. 13. Если коэффициент увлажнения грунта выходит за рамки, регламентируемые табл. 13, то грунт либо увлажняют, либо осушают.

При применении тяжелых катков на пневматических шинах значения оптимальной влажности должны быть на 2–3 % меньше значений, определенных по методу стандартного уплотнения [39]. В случае уплотнения грунтов повышенной влажности давление воздуха в шине





снижают и тем самым увеличивают площадь отпечатка и время воздействия катка на грунт. При этом уменьшается уплотняющее воздействие уплотнителя, но исключается возможность выжимания грунта из-под колес (вальцов) катков.

Если при применении самоходных катков на пневматических шинах грунт все же выжимается из-под катков, то первые проходы выполняют при движении ведущими колесами вперед. Этот прием уменьшает требуемую силу тяги машины и исключает выдавливание грунта из-под вальцов катка.

При использовании катков с регулируемым давлением воздуха в шине первые проходы выполняют при пониженном давлении в шине, постепенно увеличивая его до расчетного значения к концу процесса укатки. Постепенное повышение удельного уплотняющего давления – одно из основных требований при уплотнении связных грунтов. При этом обеспечивается получение плотной и прочной структуры грунта по всей толщине уплотняемого слоя. Давление воздуха в шинах катка на начальном этапе уплотнения связных грунтов не должно превышать 0,2 – 0,3 МПа. На заключительном этапе уплотнения супесей давление в шинах катков должно быть равным 0,3 – 0,4 МПа.

Для реализации технологии уплотнения грунтов при переменном давлении воздуха в шинах необходимо снабжать каток стандартными шинами. Поясняя это требование, укажем на то, что катки на пневматическом ходу могут быть снабжены одним из двух типов шин: стандартными или широкопрофильными, показанными на рис. 124 [39].

Широкопрофильные шины применяются при фиксированном давлении воздуха 0,4 МПа [39]. Они пригодны для конечной укатки асфальтобетона и для уплотнения грунтов, хуже подходят для обычного грунта, так как не имеют такого глубинного эффекта, как стандартные шины [39]. При уплотнении грунтов такие шины не применяют. Иногда возникают случаи, когда необходимо произвести уплотнение сравнительно тонких слоев грунта. Например, при уплотнении грунтов кулачковым катком грунт

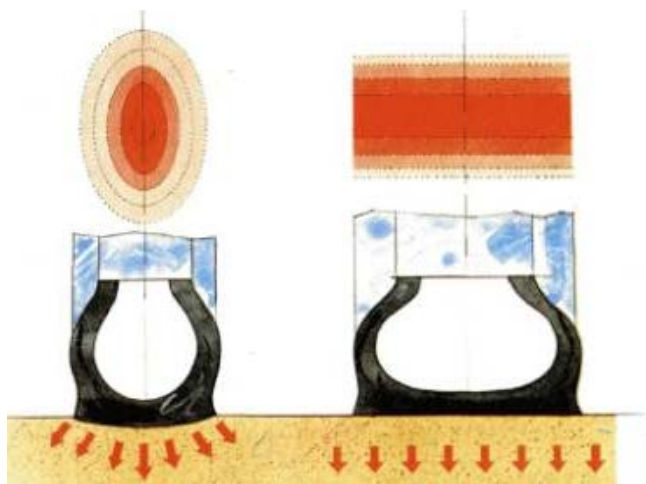


Рис. 124. Стандартные и широкопрофильные шины



на поверхности верхнего технологического слоя разрыхлен. Для уплотнения этого грунта могут быть применены катки с широкопрофильными шинами.

Стандартные шины позволяют варьировать давление воздуха в них, что дает возможность соблюдать все технологические требования, оговариваемые строительными правилами [20]. Это обстоятельство особенно важно, так как влажность грунта, добываемого в течение строительного сезона, изменяется. Поэтому возникают случаи, когда грунтовые призмы разных труб следует уплотнять при разных режимах, в том числе и при различном режиме вариации давления воздуха в шинах.

Важной особенностью самоходных пневматических катков является то, что колеса переднего и заднего валцов перекрывают проходы друг друга (рис. 125). Величина перекрытия составляет от 3 до 5 см [39].



Рис. 125. Схема перекрытия проходов колес переднего и заднего валцов самоходных катков на пневматических шинах

Рассматривая луковичи напряжений от каждого колеса (рис. 126), можно убедиться в том, что они перекрываются, а нормальное вертикальное напряжение в области их перекрытия определяется суммированием компоненты тензора напряжений от каждого колеса [39]. Величина осадки зависит от величины вертикального напряжения. Поэтому перекрытие лукович напряжений является достоинством катка, которое проявляется на завершающей стадии процесса, когда сопротивление уплотнению достаточно велико.



При предварительном уплотнении (подкатке) грунта легкими катками нагрузка на каждое из колес должна быть примерно в 2 раза меньше нагрузки на колесо основного, более тяжелого катка [39].

Первые и последние 2–3 прохода по полосе укатки производят на малой скорости передвижения катка, равной 2,0–2,5 км/ч, а промежуточные проходы – при большей скорости, равной 8–10 км/ч, в соответствии с данными технического паспорта катка [14, 20, 39].

Для получения однородной плотности грунта в уплотняемом слое полотна давление во всех шинах колес катка должно быть одинаковым. При применении любого катка его эффективность зависит от состояния грунта в подстилающем слое. Качественное уплотнение невозможно, если грунт в нижележащем слое имеет высокую деформируемость. К таким грунтам можно отнести связные грунты высокой влажности [39].

Кулачковые катки являются модификацией гладковальцового катка, полученной посредством крепления к стальному полуму барабану многочисленных выступов (см. рис. 117). Эти выступы называют кулачками, они располагаются на вальце в определенном порядке, отличительной чертой которого является сдвигка кулачков одного ряда относительно кулачков соседнего ряда. При уплотнении грунта в определенный момент времени вес катка передается только на сравнительно малое количество кулачков, что обуславливает высокие давления, которые больше давлений, передаваемых гладковальцовым катком и катком на пневматических шинах. Это обстоятельство является важным преимуществом кулачкового катка. Вес пустотелого барабана катка можно менять путем заполнения объема водой, песком или их смесью [35]. Таким образом, имеется возможность варьирования давления от кулачков на грунт в процессе уплотнения.



Рис. 126. Перекрывание лукович нормальных вертикальных напряжений







Рис. 127. Иллюстрация внедрения кулачков в слой уплотняемого грунта

Отличительной чертой процесса уплотнения грунта кулачковым катком является то, что технологический слой начинает уплотняться от нижней поверхности [35]. Это объясняется тем, что кулачки проникают в слой отсыпанного грунта и оказывают давление на его нижнюю поверхность (рис. 127). Характер-

ной особенностью применения таких катков является то, что внедренные в грунт кулачки препятствуют расширению грунта в межкулачковом пространстве. В результате этого боковое расширение грунта, расположенного между кулачками, существенно ограничено, а вблизи кулачков грунт работает без бокового расширения, т. е. испытывает компрессионное сжатие. Такой вид напряженного состояния является наиболее благоприятным для уплотнения.

По мере увеличения проходов катка кулачки проникают в слой на все меньшую глубину, а в конечном итоге выходят на поверхность слоя. Выход кулачков на поверхность слоя грунта свидетельствует о том, что применяемый каток полностью реализовал свою уплотняющую способность. Судить о достаточности степени уплотнения грунта можно только по результатам определения коэффициента уплотнения и его сравнением с требованиями СП 34.13330.2012 [18].

Другим преимуществом кулачковых катков считается то, что по мере передвижения катка вперед грунт дополнительно измельчается и перемешивается до однородного состояния [35]. Наиболее целесообразная скорость движения катка – 8 км/ч [35].

В нормальных условиях использование кулачковых катков рекомендуется для уплотнения относительно дисперсных грунтов, подобных пылеватым глинистым и глинистым [35].





## Контрольные вопросы и задания

1. Опишите технологию работ по устройству грунтовой призмы трубы.
2. Как происходит засыпка трубы и уплотнение грунта наклонными слоями?
3. Опишите технологию засыпки и уплотнения грунта в стесненных условиях.
4. Дайте описание процесса укатки грунтов в зависимости от вида уплотняющей техники.
5. Каким образом взаимосвязаны плотность и влажность грунта?

## 9. УСТРОЙСТВО ЛОТКОВ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГОФРИРОВАННЫХ ТРУБАХ

В металлических гофрированных трубах выполняют устройство защитных лотков. Такие лотки выполняют внутри готовой трубы, а также в отдельных секциях, собираемых из звеньев на полигонах. Лотки представляют собой сборную или монолитную конструкцию, в которой применяются разнообразные материалы, бетоны, асфальтобетоны, материалы, обработанные вяжущими веществами, и т.п. Лотки укладывают на слой дополнительного антикоррозионного покрытия, как правило, после возведения насыпи над МГТ [9].

В случаях устройства лотков в отдельных секциях необходимо, чтобы длина лотка была меньше длины секции на величину, обеспечивающую стыковку секций стандартными гофрированными элементами при монтаже [9]. После устройства стыков в трубе имеются участки, не покрытые материалом лотка. Такие участки необходимо заполнить асфальтобетоном [9].

### 9.1. Устройство сборных бетонных и асфальтобетонных лотков

Размеры бетонных и асфальтобетонных блоков принимают согласно указаниям [9, 40]. Изготовление блоков из бетонной смеси выполняют на бетонных заводах или полигонах, находящихся вблизи строящейся дороги [9]. При изготовлении бетонных лотков бетонную смесь укладывают в сборно-разборную металлическую опалубку и уплотняют на вибростолах.



Бетонные блоки транспортируют на строительную площадку и монтируют на подготовленную поверхность трубы. Подготовка трубы состоит в очистке ее внутренней поверхности и нанесении защитного слоя битумно-резиновой мастики, битуминоли или другого материала, обладающего хорошим сцеплением с металлом.

Укладку блоков выполняют вручную на битумную эмульсию или другой материал на основе битума в холодном состоянии. В местах болтовых соединений помещают блоки пониженной высоты [9].

Для изготовления блоков сборного асфальтобетонного лотка применяют литые песчаные асфальтобетонные смеси. Сборные асфальтобетонные блоки готовят на асфальтобетонном заводе, на котором оборудуют специальный полигон [40]. На этом полигоне асфальтобетонную смесь загружают в металлические сборно-разборные формы, которые объединены в единую кассету с 12-ю ячейками [40]. Отметим, что независимо от материала лотка (бетон или асфальтобетон) размеры блоков принимают одинаковыми. Поэтому металлическая опалубка, служащая для изготовления бетонных блоков [9], и форма для изготовления асфальтобетонных блоков имеют одинаковую конструкцию. Конструкция и размеры бетонных и асфальтобетонных блоков приведены на рис. 128 и 129.

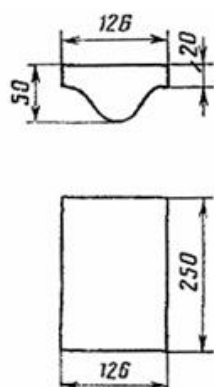


Рис. 128. Сборные бетонные и асфальтобетонные лотки типа I

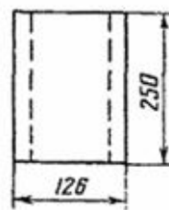
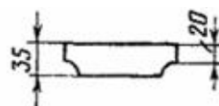
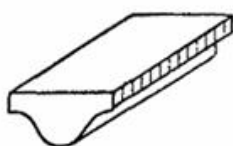
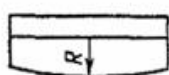
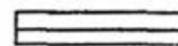


Рис. 129. Сборные бетонные асфальтобетонные лотки типа II



Металлическая форма, или опалубка, представляет собой кассету, в которой размещены 12 ячеек-форм. В каждую ячейку вставлено свободно опирающееся дно [9, 40]. Дно выполняется из того же гофрированного металла, что и сегменты трубы [9, 40]. Благодаря этому лоток без особых затруднений устанавливается внутри готовой трубы.

Перед укладкой асфальтобетонной смеси стенки форм обрабатывают водой с керосином (в соотношении 1:1) [40]. Уплотняют смесь в



формах кратковременным вибрированием (с пригрузкой или без нее) [40]. При отсутствии такой возможности смесь разравнивают и убирают излишки.

Готовую кассету со смесью транспортируют к емкости с водой и для более быстрого остывания опускают в воду [40]. После полного остывания смеси кассету извлекают из воды [40]. Распалубку форм и извлечение готовых блоков осуществляют на специальной площадке [40].

Перед устройством лотка внутреннюю поверхность трубы в случае необходимости следует предварительно покрыть (если это не предусмотрено проектом) защитным слоем из битумно-резиновой мастики (МБР), битума или других герметиков, обладающих достаточно высоким сцеплением с металлом.

Перед укладкой сборных асфальтобетонных лотков внутреннюю поверхность секций подготавливают, обрабатывая дополнительное защитное покрытие 50–60 %-ной катионной битумной эмульсией или горячим битумом [40]. Применение битумной эмульсии позволяет проводить работы холодным способом, вследствие чего ей рекомендуется отдавать предпочтение [40]. Длина полосы, обрабатываемой эмульсией, не должна быть больше двух рядов уложенных блоков, т. е. обработка внутренней поверхности производится на длину не более 50 см. Расход вяжущего принимают в пределах 0,6 – 0,8 л/м<sup>2</sup> [40]. Обработанная поверхность должна быть ровной, без пропусков, сгустков, подтеков и пузырей [40], что контролируется визуально после окончания работ.

На подготовленную внутреннюю поверхность укладывают сборные асфальтобетонные блоки. Укладку выполняют вручную. При укладке лотков в секциях их монтаж выполняют в направлении, противоположном подаче блоков, а монтаж лотков в готовой трубе ведут одновременно в двух направлениях – от середины к торцам трубы [40]. В местах болтовых соединений, где установка сборных элементов I типа (см. рис. 128) невозможна, устанавливают блоки II типа (см. рис. 129) или указанные места заполняют горячей асфальтобетонной смесью либо битумной мастикой [40].

Транспортировку готовых блоков к месту устройства трубы выполняют в контейнерах, полки которых должны быть выполнены из того же гофрированного металла, из которого собирают трубы [40]. Блоки на полки контейнеров укладывают в два ряда, второй ряд должен быть уложен плоской стороной вниз [40].



После окончания работ по устройству сборного защитного лотка его поверхность обрабатывают битумной эмульсией [40]. Работы по устройству сборного лотка считаются законченными после полного распада битумной эмульсии на его поверхности [40].

## 9.2. Устройство монолитных бетонных и асфальтобетонных лотков

При устройстве монолитных бетонных лотков выполняют следующие операции [9]:

- 1) очистку поверхности трубы;
- 2) укладку бетона на всю ширину лотка;
- 3) уплотнение бетона.

Уплотнение бетона выполняется металлической виброрейкой [9]. Устройство монолитного бетонного лотка выполняют при положительной температуре воздуха. При отрицательных температурах воздуха для устройства лотка требуется разработка специального проекта, предусматривающего мероприятия по обеспечению проектных характеристик материала лотка [9].

Для устройства монолитных лотков применяют литую асфальтобетонную смесь, которую подвозят к трубе в металлической емкости и транспортируют ее далее по трубе по настилу [40]. Настил делают сборным, удаляя из трубы его отдельные элементы по мере укладки асфальтобетонной смеси [40]. Смесь следует укладывать в направлении, противоположном ее подаче [40]. Температура смеси при укладке должна быть 140–160 °С, а укладку выполняют на ширину сектора, разравнивая металлическими движками и приглаживая деревянными вальками [40].

Оценка качества выполнения работ по устройству лотка выполняется визуально путем внешнего осмотра и проверкой отсутствия трещин, бугров, впадин, расслоений. Измерению подлежат контролируемые геометрические размеры. По окончании работ составляется акт приемки лотка в трубе [40].

### Контрольные вопросы и задания

1. Какие конструкции защитных лотков применяют в металлических трубах?
2. Опишите технологию устройства сборных бетонных и асфальтобетонных лотков.
3. Опишите технологию устройства монолитных лотков.





## 10. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА РАБОТ

При строительстве водопропускных труб применяется большое количество материалов, обуславливающих технологии производства работ. Кроме того, строительство трубы сопряжено с устройством различных конструкций, каждая из которых требует выполнения подготовительных, основных, а подчас и отделочных работ. Поэтому контроль качества строительства водопропускных труб отличается многообразием. Виды работ по контролю обуславливаются конструкцией трубы, применяемыми материалами и технологиями. Вследствие этого постройка любой трубы сопровождается разработкой индивидуальной регламентации контроля качества.

Задачи контроля качества [9]:

- 1) соответствие качества материалов и конструкций требованиям проекта и государственных стандартов;
- 2) высокое качество выполняемых работ и их соответствие утвержденному проекту и действующим нормативным документам;
- 3) своевременное осуществление промежуточной приемки выполненных работ и правильное оформление соответствующей производственно-технической документации.

Документация контроля качества включает в себя акты отбора проб и протокола испытаний. До приемки скрытых работ и ответственных конструкций запрещается проводить последующие работы. Например, в непринятом котловане запрещается отсыпать подушку и устраивать фундамент.

Входной контроль поступающих материалов выполняют в соответствии с действующими ГОСТами на методы испытаний, сравнивая экспериментально установленные показатели с величинами, оговариваемыми в стандартах на технические условия. Такой вид контроля называют входным.

В процессе работ выполняют операционный контроль, а оценку качества производят по результатам приемочного контроля. При операционном и приёмочном контроле оценивают одни и те же параметры построенных конструкций, применяя одинаковые методы испытаний.

Все виды контроля выполняются лабораторией застройщика, но с проверкой результатов лабораторией технического надзора, действующей со стороны заказчика. Лаборатория застройщика выполняет



100 % объема измерений и определений, оговоренного в нормативных документах, а лаборатория технического надзора – 20 %. Таким образом, суммарный объем контроля составляет 120 % от требований нормативных документов. Кроме того, если специалистами операционного контроля и технического надзора получены разные результаты, то для устранения разногласий сотрудники двух лабораторий производят совместный отбор проб и их испытание, по результатам которого принимается решение о соответствии контролируемого параметра требованиям проекта или нормативного документа.

При операционном контроле производятся измерения геометрических характеристик всех конструктивных элементов водопропускной трубы. Для измерений применяются только металлические рулетки, отвечающие требованиям ГОСТ 7502-98 [41]. Контроль правильности размещения осей конструктивных элементов (котлована, фундамента, трубы) и их высотные отметки контролируют при помощи геодезических инструментов теодолитов и нивелиров.

В разработанном котловане производят контроль плотности грунта естественного основания. При этом под осью дороги отбирается не менее двух проб [9]. Аналогичный отбор проб для оценки плотности производят в грунтовой подушке, укладываемой взамен слабого грунта основания. В этом случае под осью дороги каждые 0,5 м высоты подушки отбирают не менее двух проб грунта. Отбор, упаковку, транспортировку и хранение проб грунта выполняют в соответствии с ГОСТ 12071-2000 [42]. При этом плотность сухого грунта определяют расчетным способом, а плотность большинства видов грунта – методом режущего кольца по ГОСТ 5180-84 [43]. Кроме метода режущего кольца для определения плотности грунта применяют пескозагрузочные аппараты (рис. 130) и баллонные плотномеры (рис. 131), соответствующие требованиям ГОСТ 28514-90 [44].

Представленные на рис. 130 пескозагрузочные аппараты импортного производства выполнены по требованиям стандарта ASTM D1556/1556M-15 [47], регламентирующего определение плотности и удельного веса грунта методом песчаного конуса (аналог метода замещения объема). Несмотря на это аппараты импортного производства удовлетворяют требованиям ГОСТ 28514-90 [44], а значит, могут применяться на строительных площадках РФ.



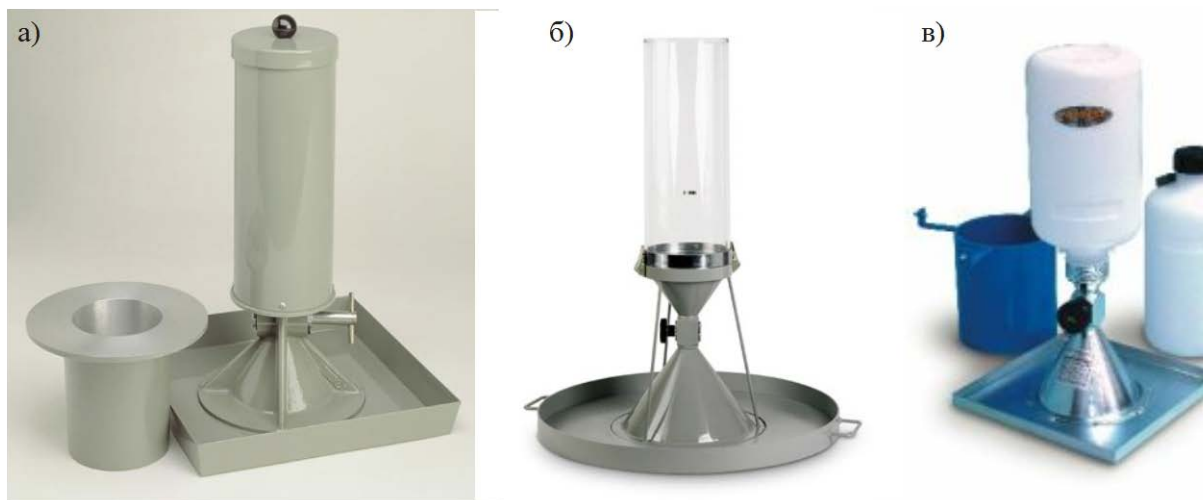


Рис. 130. Пескозагрузочные аппараты:  
*а* – 35-Т0125; *б* – 35-Т0133; *в* – S234 (Matest, Италия)

Баллонные плотномеры российского производства ПБД-КМ и ПГ-7С, а также выпущенные за рубежом и удовлетворяющие требованиям ASTM D2167-08 [49] могут быть применены для определения плотности грунтов при постройке труб на дорогах РФ.

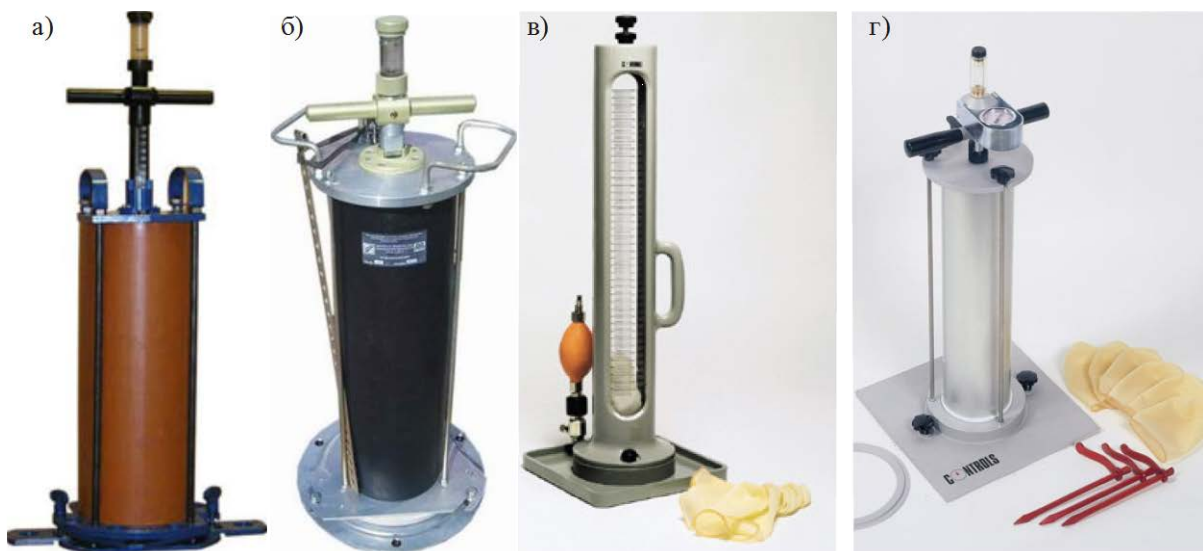


Рис. 131. Баллонные плотномеры, соответствующие требованиям стандартов ГОСТ 28514-90 [44] и ASTM D2167-08 [49]:  
*а* – ПБД-КМ; *б* – ПГ-7С; *в* – 35-Т0131; *г* – 35-Т0134/А

Для оценки качества уплотнения на месте производства работ дорожные мастера применяют динамические (рис. 132) и статические (рис. 133) плотномеры-пенетromетры, а также прибор плотномер-



влажномер системы Н.П. Ковалева и др. приборы и оборудование (рис. 134).



Рис. 132. Динамические плотномеры-пенетрометры:  
*а* – РМ-1; *б* – ДПА-1; *в* – КП-150; *г* – ДПУ

За рубежом для оценки плотности грунтов применяется динамический конусный пенетрометр конструкции Дж. Соуреса (рис. 135).

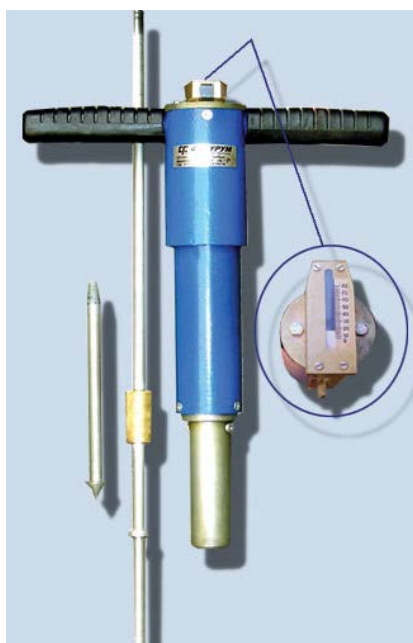


Рис. 133. Плотномер  
 СПГ-1М



Рис. 134. Плотномер-влажномер  
 системы Н.П. Ковалева







Рис. 135. Динамический конусный пенетрометр (DCP)

Перед началом монтажа железобетонных элементов они осматриваются на предмет наличия трещин, сколов и других элементов, у гофрированных элементов проверяют наличие маркировки и комплектность элементов и крепежа, а также оценивают наличие повреждений, целостность и качество защитного покрытия.

Готовые трубы проходят приемку с оформлением соответствующего акта.

При выполнении работ по устройству гидроизоляции и дополнительного защитного антикоррозионного покрытия контролируют:

- температуру окружающего воздуха;
- относительную влажность воздуха;
- обезжиренность и чистоту сжатого воздуха, применяемого в процессе производства работ;
- степень очистки поверхности перед нанесением лакокрасочных материалов;
- гарантийный срок их пригодности;
- время технологической выдержки наносимых слоев защитного покрытия и время выдержки полного покрытия.



Устройство грунтовой обоймы ведется под постоянным геодезическим контролем [9]. Контроль плотности грунта следует осуществлять на протяжении всего процесса засыпки труб путем отбора проб. Плотность каждого отсыпанного и уплотненного слоя грунта около входного и выходного оголовков и по всей длине трубы проверяется не реже, чем через 10 м на расстоянии 0,1 и 1 м от боковых стенок. Количество проб должно быть не менее двух в каждой точке [9]. Результаты контроля заносятся в акт на скрытые работы.

Оценку качества выполнения работ по устройству лотка следует производить внешним осмотром (проверкой отсутствия трещин, бугров, впадин, расслоений) и контролем геометрических размеров. По окончании работ составляется акт приемки лотка в МГТ [9].

### Контрольные вопросы

1. Какие виды контроля при устройстве трубы вы знаете?
2. Как выполняют контроль плотности грунта?
3. Какие приборы существуют для ведения контроля качества при строительстве водопропускных труб? Расскажите принцип их работы.



## Библиографический список

1. Водопропускные трубы под насыпями / под ред. О.А. Янковского. – М. : Транспорт, 1982. – 232 с.
2. Автомобильные дороги. Трубы под насыпями автомобильных дорог / Н.П. Лукин, А.Н. Лукин, С.А. Щуко // Обзорная информация. – М., 1988. – Вып. 6. – 55 с.
3. Дорожная терминология : справочник / под ред. М.И. Вейцмана. – М. : Транспорт, 1985. – 310 с.
4. Подвальный, Р.Е. Технология строительства металлических гофрированных водопропускных труб / Р.Е. Подвальный, А.С. Потопов, О.А. Янковский. – М. : Транспорт, 1978. – 78 с.
5. ГОСТ 24547-81. Звенья железобетонные водопропускных труб под насыпи автомобильных и железных дорог. Общие технические условия. – Введ. 1982 - 01 - 01. – М. : Изд-во стандартов, 1982.
6. ГОСТ 23009-78. Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Условные обозначения (марки) (с изменением №1). – Введ. 1979 - 01 - 01. – М. : Изд-во стандартов, 1987.
7. Захаров, Ю.К. Эффективность применения круглых удлиненных звеньев труб с плоской пятой / Ю.К. Захаров, П.М. Зелевич // Трансп. стр-во. – 1983. – № 5. – С. 12–13.
8. Опыт строительства сборных железобетонных овоидальных водопропускных труб / Е.В. Оршанский, В.Н. Штейн, Ю.Э. Тартаковский и др. // Трансп. стр-во. – 1978. – № 4. – С. 10–11.
9. ОДМ 218.2.001-2009. Рекомендации по проектированию и строительству водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур на автомобильных дорогах общего пользования с учетом региональных условий (дорожно-климатических зон). – Взамен ВСН 176-78 / Росавтодор. – М. : ФГУП Информавтодор, 2009.
10. Иващенко, Ю.Г. Работы, влияющие на безопасность объектов капитального строительства : технические вопросы, экономика, риск, менеджмент : учеб. пособие : в 3 ч. / Ю.Г. Иващенко, А.Н. Плотников, С.Л. Аборин и др. – М. : Аквариус, 2010. – Ч. 3. – 744 с.
11. Цупиков, С.Г. Справочник дорожного мастера. Строительство, эксплуатация и ремонт автомобильных дорог : учебно-практическое пособие / Г.С. Цупиков, А.Д. Гриценко, А.М. Борцов, А.М. Гуряева, Т.В. Москвитина, Н.С. Казачек, В.В. Кузьмин, О.А. Иванова. – М. : Инфра-Инженерия, 2005. – 992 с.



12. Шестаков, В.Н. Технология строительства сборных железобетонных труб на автомобильных дорогах / В.Н. Шестаков. – Омск : СиБАДИ, 1994. – 53 с.

13. Технология и организация строительства автомобильных дорог / под ред. Н.В. Горелышева. – М. : Транспорт, 1992. – 551 с.

14. Руководство по сооружению земляного полотна автомобильных дорог / под ред. И.Е. Евгеньева. – М. : Транспорт, 1982. – 160 с.

15. ЕНиР. Сборник Е2. Выпуск 1. Земляные работы. Механизированные и ручные работы. – Введ. 1990 - 12 - 18. – М. : Госстрой СССР, 1988. – 225 с.

16. ГОСТ 13015-2003. Изделия железобетонные и бетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения. – Введ. 2004 - 03 - 01 / Госстрой России. – М. : ФГУП ЦПП, 2004.

17. КТП-1-2002. Карта трудового процесса. Устройство сборной водопропускной круглой железобетонной трубы диаметром 1,5 м. Устройство котлована под фундамент трубы. – М. : ГП Центрооргтруд Росавтодора, 2002.

18. СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85\*. – Введ. 2013 - 07 - 01. – М. : Министерство регионального развития РФ, 2013.

19. ГОСТ 22733-2002. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. – Введ. 2003 - 07 - 01. – М. : Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003.

20. СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85. – Введ. 2013 - 07 - 01. – М. : Минрегион России, 2013.

21. Стандарт организации. Автомобильные дороги. Устройство, реконструкция и капитальный ремонт водопропускных труб. Ч. 1. Трубы бетонные и железобетонные. Устройство и реконструкция. – Введ. 2013 - 06 - 26. – М. : Союздорстрой, 2013. – 75 с.

22. ЕНиР. Сборник Е4. Выпуск 3. Монтаж сборных и устройство монолитных железобетонных конструкций. Мосты и трубы. – Введ. 1989 - 01 - 09. – М. : Госстрой СССР, 1989. – 230 с.

23. КТП-2-2002. Карта трудового процесса. Устройство сборной водопропускной круглой железобетонной трубы диаметром 1,5 м. Устройство песчано-гравийной и щебеночной подготовки. – М. : ГП Центрооргтруд Росавтодора, 2002.





24. Методические рекомендации по уходу за свежееуложенным бетоном дорожных и аэродромных покрытий с применением депрессора испарения влаги марки ДСШ / сост. : Э.Р. Пинус, Г.Н. Фабрикантов, А.И. Ляпина. – М. : СоюздорНИИ, 1985.

25. КТП-3-2002. Карта трудового процесса. Устройство сборной водопропускной круглой железобетонной трубы диаметром 1,5 м. Монтаж блоков фундамента, оголовков и звеньев трубы. – М. : ГП Центрооргтруд Росавтодора, 2002.

26. КТ-4.4-97-75. Карта трудовых процессов. Устройство железобетонных труб. Устройство сборной железобетонной трубы  $D = 1$  м под автомобильную дорогу. Устройство сборных оголовков. – Алма-Ата : МАД КазССР, 1976.

27. ГОСТ Р ИСО 4017-2013. Винты с шестигранной головкой. Классы точности А и В. – Введ. 2013 - 08 - 28. – М. : Стандартиформ, 2014.

28. ГОСТ 5915-70. Гайки шестигранные класса точности В. Конструкция и размеры (с изменением №2 – 7). – Введ. 1970 - 02 - 18. – М. : Стандартиформ, 2010.

29. ВСН 32-81. Инструкция по устройству гидроизоляции конструкций мостов и труб на железных, автомобильных и городских дорогах. – М. : Минстрой СССР, 1982.

30. КТ-4.4-99.101-75. Карта трудовых процессов. Устройство железобетонных труб. Устройство сборной железобетонной трубы  $D = 1$  м под автомобильную дорогу. Гидроизоляционные работы. – Алма-Ата : МАД КазССР, 1976.

31. Рекомендации по антисептированию ткани льно-джутокенафной паковочной и технического назначения для гидроизоляции мостов. – М. : ЦНИИС, 1976.

32. ГОСТ 3640-94. Цинк. Технические условия. – Введ. 1994 - 10 - 21. – М. : Стандартиформ, 2011.

33. КТП-6-2002. Карта трудового процесса. Устройство сборной железобетонной водопропускной прямоугольной трубы отверстием  $2,5 \times 2,5$  м. – М. : ГП Центрооргтруд Росавтодора, 2002.

34. СП 46.13330.2012. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 3.06.04-91. – Введ. 2013 - 01 - 01. – М. : Минрегион России, 2012.



35. Базавлук, В.А. Уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог : теоретические основы и технологии : учеб. пособие / В.А. Базавлук, Е.Ю. Кузнецов ; Том. гос. архит.-строит. ун-т. – Томск : Печат. мануфактура, 2006. – 99 с.

36. Сиденко, В.М. Дорожные одежды с парогидроизоляционными слоями / В.М. Сиденко, О.Т. Батраков, Ю.А. Покутнев. – М. : Транспорт, 1984. – 142 с.

37. Гусев, Ю.М. Остаточные деформации грунтов в строительстве. – Киев ; Донецк : Вища школа, 1980. – 88 с.

38. Радовский, Б.С. Методы и приборы контроля качества строительства дорожных покрытий в США [Электронный ресурс] / Б.С. Радовский. – Режим доступа: <http://library.stroit.ru/articles/control2/index.html>. – Загл. с экрана (дата обращения к ресурсу: 23.04.2014).

39. Уплотнение и укладка дорожных материалов. Теория и практика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tehnorma.ru/normativbase/53/53169/index.htm>. – Загл. с экрана (дата обращения к ресурсу: 23.04.2014).

40. Методические рекомендации по устройству защитных лотков в металлических гофрированных водопропускных трубах / сост. : Д.И. Гегелий, Т.М. Луканина и А.Г. Гулимов. – М. : Союздорнии, 1977.

41. ГОСТ 7502-98. Рулетки измерительные металлические. Технические условия. – Введ. 2000 - 07 - 01. – М. : Стандартинформ, 2006.

42. ГОСТ 12071-2000. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование, хранение образцов. – Введ. 2001 - 07 - 01. – М. : Госстрой России, ГУП ЦПП, 2001.

43. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – Введ. 1985 - 07 - 01. – М. : Стандартинформ, 2005.

44. ГОСТ 28514-90. Строительная геотехника. Определение плотности грунтов методом замещения объема. – Введ. 1990 - 05 - 01. – М. : Стандартинформ, 2008.

45. AASHTO T180-10. Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using a 4.54-kg (10-lb) Rammer and a 457-mm (18-in.) Drop. American Association of State and Highway Transportation Officials, 2010.

46. AASHTO T99-10. Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using a 2.5-kg (5.5-lb) Rammer and a 305-mm (12-in.) Drop. American Association of State and Highway Transportation Officials, 2010.



47. ASTM D1556 / 1556M-15. Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand-Cone Method. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.

48. ASTM D1557-12. Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft – lbf / ft<sup>3</sup> (2,700 KN – m / m<sup>3</sup>)). ASTM International, West Conshohocken, P.A., 2012.

49. ASTM D2167-08. Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Rubber Balloon Method. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.

50. ASTM D698-12e1. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft – lbf / ft<sup>3</sup> (600 KN – m / m<sup>3</sup>)). ASTM International, West Conshohocken, P.A., 2012.

