

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства»

Е.С. Саксонова

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ВОДОПРОПУСКНОЙ ТРУБЫ**

Рекомендовано Редсоветом университета  
в качестве учебного пособия  
для студентов, обучающихся по направлению 270200 «Транспортное  
строительство» и направлению подготовки 270900.62 «Строительство»  
(профиль подготовки «Автомобильные дороги»)

Пенза 2013

УДК 625.76 (075.8)

ББК 39.311я73

С15

Рецензенты: заведующий кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта», доктор технических наук, профессор В.В. Салмин (ПГУАС); ведущий инженер ООО «Приволжстройпроект» Г.В. Ладугина

**Саксонова Е.С.**

С15 Проектирование и строительство водопропускной трубы: учеб. пособие / Е.С. Саксонова. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 104 с.

Приведены сведения по определению основных гидрологических характеристик водосборного бассейна, а также по определению объемов и расходов стока поверхностных вод на малых водосборах, необходимые для проектирования водопропускных труб.

Учебное пособие подготовлено на кафедре «Геотехника и дорожное строительство» и предназначено для студентов, обучающихся по направлению 270200 «Транспортное строительство» и направлению подготовки 270900.62 «Строительство» (профиль подготовки «Автомобильные дороги») при выполнении курсовых работ и проектов. Может быть полезным и для дипломного проектирования.

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2013

© Саксонова Е.С., 2013

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Для пропуска поверхностных вод под телом дорожной насыпи широко используются водопропускные трубы. На дорогах страны в настоящее время используются десятки тысяч водопропускных труб, отличающихся материалом изготовления, размером отверстия и формой сечения, типом оголовков, уклоном и другими конструктивными особенностями.

Водопропускные трубы под насыпями на автомобильных дорогах составляют около половины всех искусственных сооружений, причем они являются наиболее распространенными дорожными сооружениями: на 1 км дороги их количество составляет 1–1,4.

Трубы располагают в самых низких местах дороги, которые на продольном профиле определяются наименьшей отметкой земли. Выбор места сооружения трубы зависит от очертания тальвега (русла) в пересечении его автомобильной дорогой.

Область применения труб – малые водотоки, действующие главным образом периодически (при выпадении дождей, таянии снегов и т.п.). Величина отверстия трубы не превышает 6 м, но в большинстве случаев используются трубы с отверстием до 2 м. По сравнению с малыми мостами трубы для тех же расходов воды дешевле и проще в эксплуатации.

В учебном пособии рассмотрены вопросы проектирования и технологии строительства водопропускных труб на автомобильных дорогах. Приведены сведения по определению основных гидрологических характеристик водосборного бассейна, а также по определению объемов и расходов стока поверхностных вод на малых водосборах, на основе которых рассчитываются круглые и прямоугольные водопропускные трубы, основные параметры поперечного сечения и тип укрепления. Для водопропускного сооружения рассмотрены вопросы конструирования.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению 270200 «Транспортное строительство» и направлению подготовки 270900.62 «Строительство» (профиль подготовки «Автомобильные дороги»), а также для студентов специальности 270205 «Автомобильные дороги и аэродромы» при выполнении курсовых работ и проектов по дисциплинам «Технология и организация строительства автомобильных дорог» и «Изыскание и проектирование автомобильных дорог».

## ВВЕДЕНИЕ

Большую часть водопропускных сооружений, строящихся на автомобильных дорогах, составляют трубы. Водопропускные трубы – это искусственные сооружения, предназначенные для пропуска под насыпями дорог небольших постоянных или периодически действующих водотоков.

Малые водоотводные сооружения устраиваются в местах пересечения автомобильной дороги с ручьями, оврагами или балками, по которым стекает вода от дождей или таяния снега. Количество водопропускных сооружений зависит от климатических условий и рельефа, а стоимость их составляет 8–15 % от общей стоимости автомобильной дороги с усовершенствованным покрытием. Поэтому правильный выбор типа и рациональное проектирование водопропускных сооружений имеют большое значение для снижения стоимости строительства автомобильной дороги.

Водопропускные трубы не меняют условий движения автомобилей, поскольку их можно располагать при любых сочетаниях плана и профиля дороги. Они практически не чувствительны к возрастанию временной нагрузки и динамическим ударам, требуют меньшего расхода материала на постройку и меньших затрат на содержание и ремонт, допускают более высокие скорости течения воды в сооружении по сравнению с мостами, а поэтому при разных размерах пропускная способность их выше. Для увеличения водопропускной способности наряду с одноочковыми трубами применяются и многоочковые. Трубы не стесняют проезжую часть и обочины, а также не требуют изменения типа дорожного покрытия. Кроме того, трубы строятся полностью сборными из железобетонных и бетонных элементов небольшой массы, что позволяет пользоваться кранами малой грузоподъемности.

При выполнении курсового проекта студент должен овладеть основными принципами проектирования водопропускных труб, научиться самостоятельно грамотно работать с технической документацией и типовыми чертежами.

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Примерно три четверти земного шара покрыто водной оболочкой – Мировым океаном.

С поверхности морей и океанов благодаря солнечной радиации испаряется огромное количество воды (505 тыс. км в год). Поднимаясь в верхние слои атмосферы, испарившаяся влага конденсируется и выпадает в виде дождя, снега или града. Однако на сушу переходит относительно небольшое количество влаги – около 8 % всего испарения с морей и океанов. Это количество воды и является активным в общем круговороте воды. Вода в жидком или твердом состоянии, выпадающая из облаков или осаждающаяся из воздуха на поверхность земли и на предметы, называется осадками. Эти осадки, стекая с возвышенных мест в низменные участки рельефа, оказывают неблагоприятное воздействие на преграждающие им путь дорожные сооружения.

Воды, находящиеся на поверхности суши в виде различных водных объектов, называются *поверхностными водами*, а находящиеся под земной поверхностью – *подземными водами*. Изучением их занимаются науки гидрология и гидрогеология.

Основным понятием в гидрологии суши считается водный объект. Водные объекты подразделяются на водотоки и водоемы. Водный объект, в котором вода движется в направлении уклона в углублении земной поверхности, называется *водотоком*. Различают *постоянные водотоки* (движение воды происходит в течение всего года или большей его части) и *временные* (движение воды происходит меньшую часть года или эпизодически). Водный объект в углублении суши, характеризующийся замедленным движением воды или полным его отсутствием, называется *водоемом*.

Для разработки проектов транспортных сооружений, подверженных воздействию водных объектов, необходимо собрать ряд гидрологических данных. Эти данные должны характеризовать поведение водных объектов, которые пересекаются дорогой или вдоль которых она проходит. Размеры отверстий труб и мостов, поперечных сечений канав и быстротоков, перепадов и кюветов определяются по расходу воды. Расход является исходной величиной для таких гидрологических параметров, как скорость и глубина потока. *Расход воды* – объем воды, проходящий в данном сечении реки (трубы, моста или другого искусственного сооружения) в единицу времени, как правило, в дорожных гидрологических расчетах измеряется, м<sup>3</sup>/с. Значение гидрологических данных, необходимых для проектирования дорожных сооружений, принимают к расчету по результатам обработки многолетних

рядов наблюдений (например, за расходом или уровнем реки или ручья). В случаях, когда на обследуемых водных объектах не велись гидрометрические измерения, данные получают по аналогии с ранее изученными водными объектами, находящимися в районе расположения проектируемой дороги. Количество воды, поступающее в водный объект, зависит в основном от площади, с которой она собирается, получившей название «бассейн».

*Бассейном*, или *водосбором*, называется площадь земной поверхности, находящаяся выше по течению от замыкающего створа этого бассейна (проектируемого искусственного сооружения), с которого возможен к нему сток по склонам, логам и долинам.

Бассейн в общем случае состоит из поверхностного и подземного водосборов. *Поверхностный водосбор* представляет собой участок поверхности, с которого поступают воды в водный объект, а *подземный водосбор* образуют толщи почвогрунтов. Как правило, подземный и поверхностный водосборы по площади не совпадают. Однако из-за больших затруднений в определении границы подземного водосбора обычно в расчетах размеры бассейна принимают в пределах только поверхностного водосбора и вследствие этого не делают различия между терминами «бассейн» и «водосбор» или объединяют их термином «водосборный бассейн».

*Гидрографические характеристики водосборных бассейнов* определяются, как правило, по имеющимся топографическим материалам (картам, планам), а при их отсутствии – по данным полевых рекогносцировочных обследований местности. В результате этого собираются следующие сведения, позволяющие учесть основные особенности стока:

- *название и местоположение водосборных бассейнов по трассе дороги;*
- *площади водосборных бассейнов;*
- *длины водотоков;*
- *отметки истока и у расчетного створа;*
- *общий характер рельефа бассейна (равнинный, холмистый и гористый);*
- *уклон лога;*
- *типы почв, видовой состав растительности и их распространение по направлению дороги и площади каждого водосбора;*
- *наличие и местоположение озер, болот, марей, бессточных впадин, пахотных земель, карстовых, мерзлотных и других явлений;*
- *наличие и местоположение прудов, водохранилищ, каналов, арыков, плотин, запруд, мостов и других искусственных сооружений.*

Для определения площади водосборного бассейна и указанных выше характеристик устанавливают границы каждого из пересекаемых водосборных бассейнов. Границы бассейнов определяют по горизонталям на картах и проводят в виде плавных линий.

*Водоразделом* называется линия, проходящая по наивысшим точкам данного рельефа местности, сток воды с которого происходит в смежные бассейны (рис.1.1). Стрелками показаны направления течения воды.

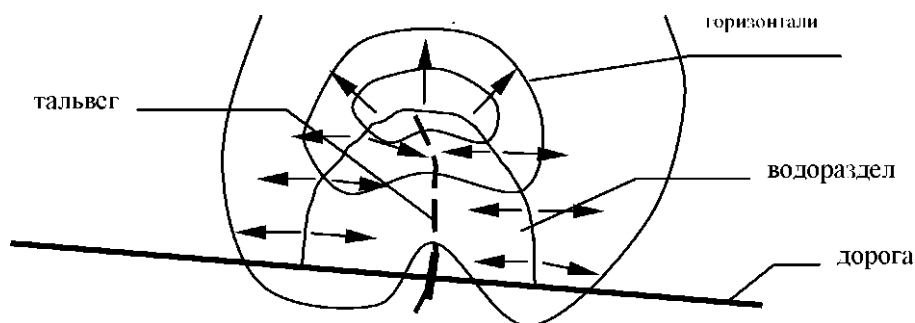


Рис. 1.1. План водосборного бассейна

Площадь водосборного бассейна является его основной характеристикой. Измеряется она в квадратных километрах и определяется по картам или планам различного масштаба. При определении границ водосборных бассейнов площадью до 100 км следует пользоваться картами масштаба крупнее 1:1000000. При их отсутствии, а также при площадях бассейнов менее 0,25 км следует производить натурную съёмку. При выборе масштаба карт следует стремиться к тому, чтобы бассейн изображался площадями не менее 5 см.

Одной из границ водосборного бассейна является трасса проектируемой дороги. По трассе дороги производится разбивка пикетажа с выделением всех точек перелома рельефа местности: наивысших, называемых водораздельными, и наинизших точек тальвега, которые отмечаем как плюсовые точки. Через каждую водораздельную точку, намеченную по оси дороги, начинается построение границы водосборного бассейна с верховой стороны от дороги. Проводится плавная водораздельная линия, которая в промежутке между горизонталями может изгибаться в соответствии с рельефом местности, но всегда перпендикулярна горизонталям в месте её пересечения.

Проводимые по соседним водоразделам границы водосборного бассейна могут соединяться на склоне в одну наиболее высокую точку водосборного бассейна, либо выходить к так называемому верховому или главному водоразделу. Главный водораздел проводится в виде

плавной линии по цепи возвышенностей, холмов или гор, отделяющих бассейн одного большого водного объекта (реки, озера, моря) от другого.

Далее штриховой линией проводится в каждом водосборном бассейне *талвег* (в переводе с немецкого – долинный путь), т.е. линия, соединяющая наинизшие точки рельефа местности (дно долины) в бассейне. Линия в промежутке между горизонталями может плавно изгибаться в соответствии с рельефом местности, но всегда проводится перпендикулярно к месту пересечения горизонтали в наиболее удалённой по линии тальвега точке.

В случаях, когда направление лога, тальвега или границ водосборного бассейна трудно определить, необходимо принимать направление стока по линиям, перпендикулярным горизонталям.

После установления границ всех водосборов, пересекаемых трассой дороги, составляют общий план бассейнов (рис.1.2), на котором показывают проектируемую дорогу, намечаемые варианты, границы бассейнов, русла водотоков, логов и тальвегов со всеми притоками и ответвлениями, существующие дороги и другие искусственные сооружения, озера, болота, мари, границы лесов, пашен и других угодий, а также населённые пункты.

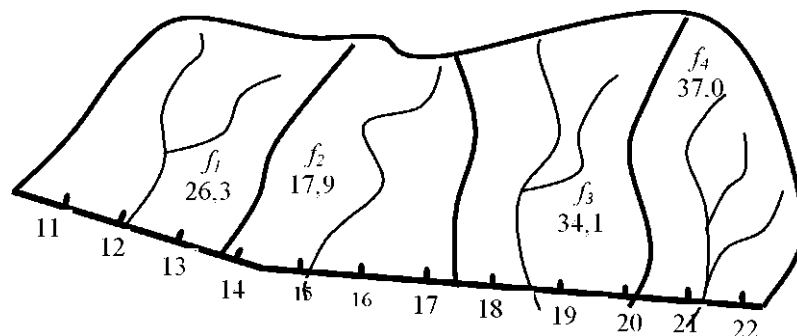


Рис. 1.2. Сводный план водосборных бассейнов

На каждом бассейне указывают порядковый номер, по ходу пикетажа или километража, площадь бассейна в квадратных километрах и название водотока. Сводный план бассейнов – основной изыскательский документ, на основании которого выполняют гидрологические расчёты мостов и труб.

На водосборных бассейнах с неясно выраженными водоразделами производят уточнение границ бассейнов путем аэровизуальных или наземных рекогносцировочных обследований либо инструментальными измерениями с разбивкой в натуре оси тахеометрических ходов и обязательной фиксацией следующих контрольных точек: истоков, смежных водоразделов, мест переливов из одного бассейна в другой,



имеющих в некоторых случаях самостоятельные русла, изменение характера растительности и т.п.

Способ полевых обследований неясно выраженных водоразделов определяют в каждом конкретном случае, исходя из их стадии, сроков выполнения и объёмов изыскательских работ, наличия топографических материалов, характера местности и степени залесенности.

При необходимости определения границ бассейнов путём непосредственного их обследования в незалесенной и открытой местностях с хорошо выраженными водоразделами целесообразна прокладка теодолитных ходов по боковым и верховым водоразделам с замером расстояний и углов или магнитных азимутов (рис. 1.3).

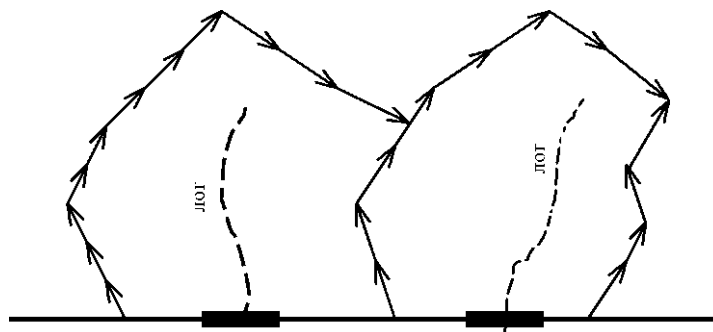


Рис. 1.3. Схема теодолитных ходов

В случаях хорошо выраженного верхового водораздела прокладывают теодолитный ход по этому водоразделу, а также аналогичные ходы по дну логов от трассы дороги до этого водораздела. Боковые границы водоразделов устанавливают по водораздельным точкам продольного профиля дороги и общим начертаниям верхового водораздела и соседних логов. В наиболее сложных случаях целесообразно уточнить границы бассейнов путём их обхода вдоль боковых водоразделов или прокладками теодолитных ходов.

В районах, где наблюдаются случаи образования во время паводков отдельных водотоков при переливе воды через водоразделы, также необходимо выполнить теодолитные ходы вдоль этих русел с целью определения длины водотока и режима стока.

При наличии на водосборных бассейнах существующих автомобильных дорог границы бассейнов определяют с учетом их положения. Ось дороги принимают за искусственный водораздел, ограничивающий собственно площадь бассейна. На плане бассейнов обозначают все водопропускные сооружения на существующих дорогах и устанавливают границы бассейнов, в которых формируются максимальные расходы для этих сооружений.

При гидравлическом изучении водотоков устанавливают границы районов или участков дороги с однородными морфологическими признаками по типам почвогрунтов, растительности и рельефа.

## 2. ВИДЫ ТРУБ И ИХ ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Трубы под насыпями можно классифицировать по следующим признакам:

- по характеру протекания воды;
- по форме поперечного сечения трубы;
- по конструкции входной части трубы;
- по материалу труб.

По характеру протекания воды различают трубы напорные, безнапорные и полунапорные. В напорных трубах вода заполняет все сечение трубы; в трубах безнапорных поток на всем протяжении трубы имеет свободную поверхность; в полунапорных трубах входное сечение трубы затоплено, а на остальном протяжении поток имеет свободную поверхность.

Для ликвидации скопления воды у насыпи и ее размыва трубы в основном проектируют и строят безнапорными.

По форме поперечного сечения трубы бывают круглые, овальные, трапециевидные, прямоугольные, треугольные, арочные, круглые с плоской подошвой (рис. 2.1), а по количеству отверстий в одном сооружении – одно-, двух- и многоочковыми. Очертание и форму поперечного сечения труб принимают на основании гидравлического расчета при протекании потока с такой скоростью, которая бы не размывала насыпь и грунт тальвега перед трубой и на выходе за ней.

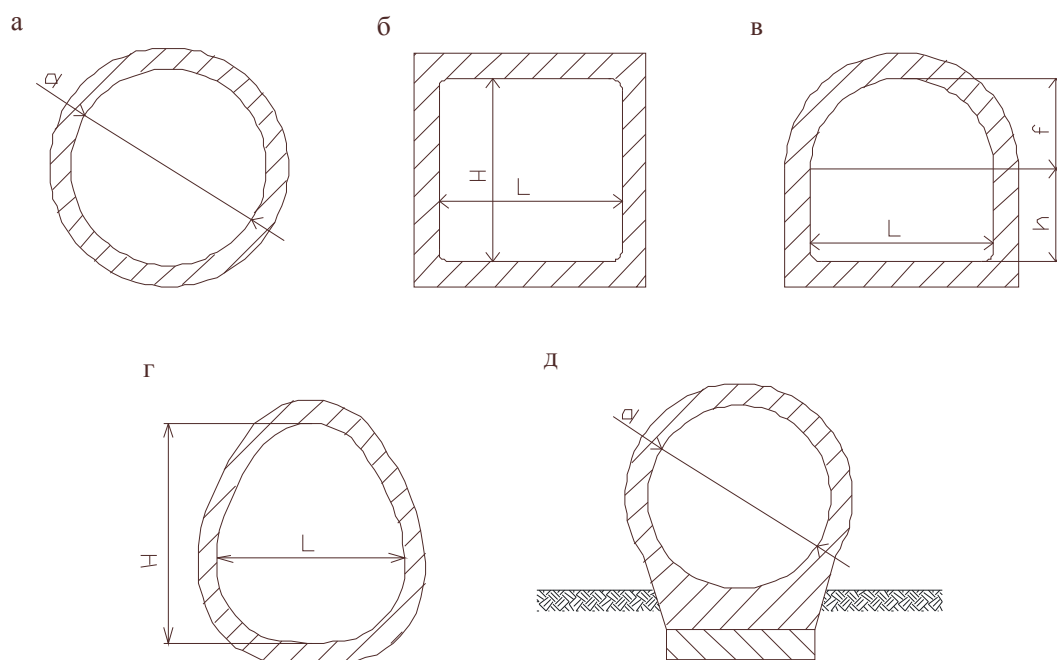


Рис. 2.1. Формы поперечных сечений труб:  
а – круглая; б – прямоугольная; в – сводчатая; г – овоидальная;  
д – круглая с плоской подошвой

Безнапорные трубы выполняют с различными поперечными сечениями.

По конструкции оголовки бывают раструбные, коридорные и порталные (рис. 2.2).

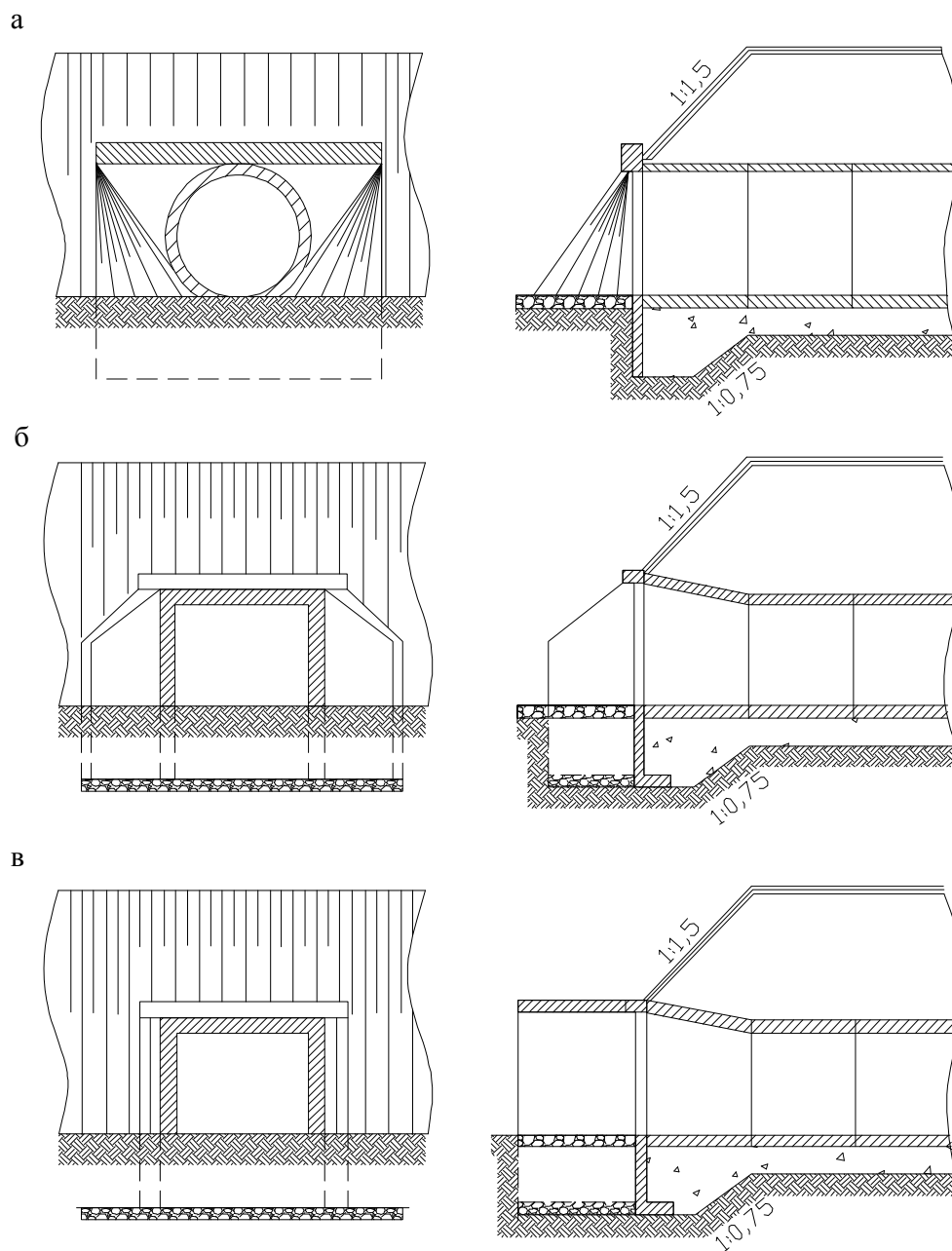


Рис. 2.2. Типы оголовков труб:  
 а – порталный оголовок; б – раструбный оголовок;  
 в – коридорный оголовок

По материалу трубы бывают железобетонные, металлические, деревянные, бетонные, каменные и др. Попытки строительства круглых гофрированных труб из полиэфирного стеклопластика и прямоугольных из клееной древесины широкого распространения не получили.

В настоящее время повсеместно нашли применение сборные железобетонные трубы (рис. 2.3).

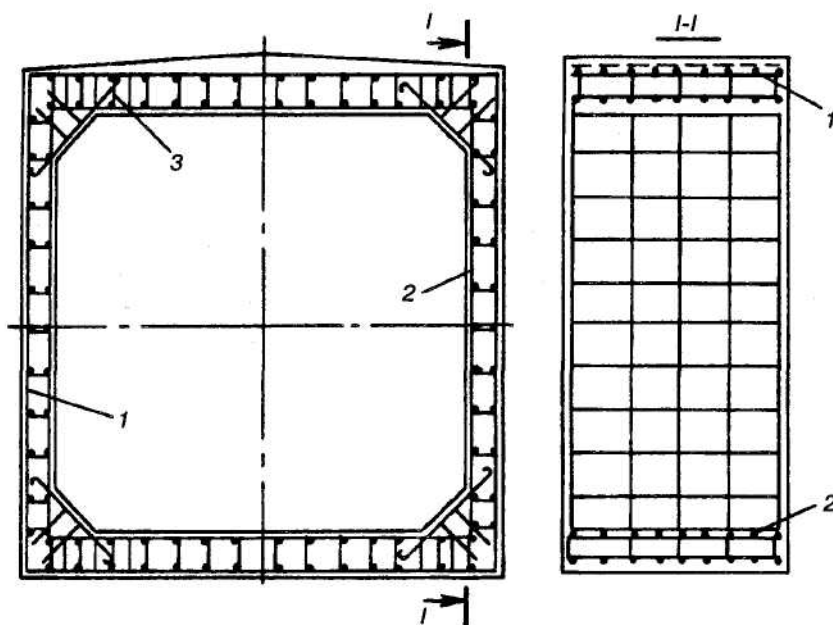


Рис. 2.3. Конструкция железобетонного звена прямоугольной трубы: 1 – внешняя рабочая арматура; 2 – внутренняя рабочая арматура; 3 – продольная распределительная арматура

В практике дорожного строительства наряду с цельноблочными применяют прямоугольные железобетонные трубы, состоящие из отдельных блоков: двух стеновых, лоткового и блока перекрытия (рис. 2.4). При сооружении таких конструкций приходится устраивать монтажные стыки, для чего требуется применять сварку и выполнять работы по бетонированию, а это усложняет процесс строительства и увеличивает его продолжительность. Кроме того, конфигурация стеновых блоков вызывает необходимость в торцевом формовании бетона при их изготовлении и определяет неэффективное использование рабочих объемов пропарочных камер.

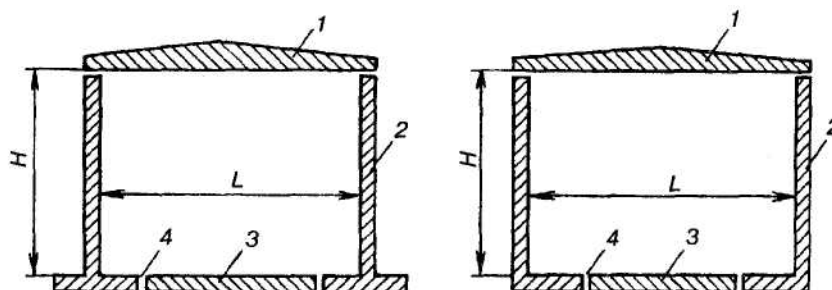


Рис. 2.4. Прямоугольные трубы со стеновыми блоками различной формы: 1 – блоки перекрытия; 2 – стеновые блоки; 3 – лотковый блок; 4 – стык омоноличивания

Успешно проходит опытное внедрение конструкция прямоугольных железобетонных труб из четырехплитных элементов, соединяемых сухими монтажными стыками (рис. 2.5). Разработаны конструкции труб с отверстиями размером 2–4 м. В плите перекрытия и в лотковой плите имеются пазы, выполненные в форме трапецеидальной призмы, в которые заводятся шипы стеновых плит, имеющие аналогичную форму. При этом глубина паза  $h_{\text{п}}$  на 3–4 см больше толщины шипа  $b_{\text{ш}}$ . В образующийся зазор в процессе монтажа забиваются не удаляемые деревянные клинья, а промежуток заливается цементным раствором.

Плиты армируются сварными сетками, объединяемыми в каркас с помощью хомутов.

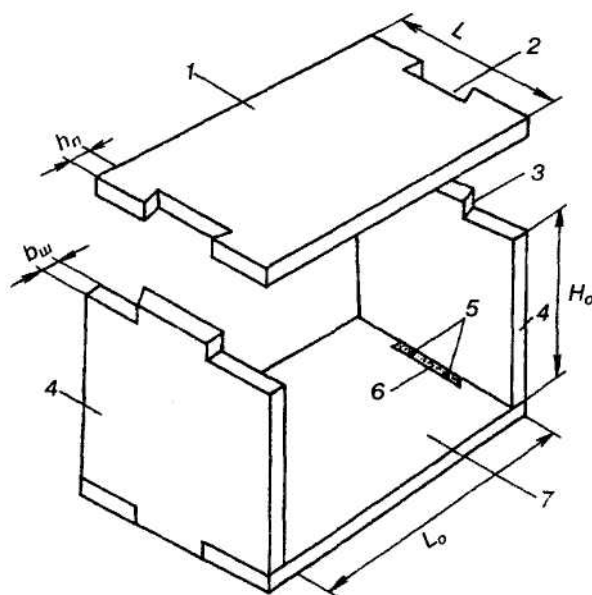


Рис. 2.5. Звено прямоугольной железобетонной трубы из плитных элементов:

- 1 – плита перекрытия; 2 – паз; 3 – шип; 4 – стеновые плиты; 5 – клинья;  
6 – зазор; 7 – лотковая плита

Труба состоит из средней части, входного и выходного оголовков. Средняя часть трубы обычно разделена на звенья, установленные на фундамент, объединяющий их в секции, или на грунтовую подушку. Нижнюю часть отверстия или дно трубы оформляют в виде лотка, которому придают продольный уклон с учетом уклона лога на месте устройства трубы. Уклон трубы обеспечивают путем ступенчатого расположения ее секций.

Основными конструктивными элементами трубы являются ее тело, фундамент, входной и выходной оголовки. Тело трубы предназначается для восприятия внешних нагрузок, а также для формирования необходимого отверстия. С целью регулирования водного потока, обеспечения плавности его протекания и предотвращения продольных

смещений (растяжений) элементов трубы при оползаниях откосов насыпи входные и выходные участки трубы оборудуются оголовками. Оголовки, расположенные с верховой стороны трубы, называются входными, а с низовой стороны – выходными.

Наиболее простыми по конструкции являются *портальные оголовки*, выполняемые в виде подпорной стенки. Портальные оголовки не обеспечивают плавного протекания воды, вследствие чего их применяют при ее малых расходах. *Раструбные оголовки* имеют портальную стенку и откосные крылья переменной высоты, расположенные под углом 17–20° к оси трубы. *Коридорные оголовки* состоят из портальной стенки и откосных крыльев постоянной высоты, установленных параллельно друг другу.

Во избежание опасной фильтрации, разжижения и выноса грунта насыпи нельзя допускать просачивания воды из трубы в насыпь. Лучше всего этому отвечала бы непрерывная конструкция трубы. Однако такая труба со временем изогнулась бы по длине и поломалась от неравномерной осадки основания. В средней части насыпи давление, а значит и осадка – наибольшие, а к краям, под откосами, – наименьшие. Между секциями устраивают сквозные деформационные швы для предотвращения трещин или других повреждений трубы от воздействия неравномерной осадки.

Прямоугольные трубы, ввиду их большой пропускной способности, применяются под насыпями высотой до 20 м как на периодически действующих, так и на малых постоянных водотоках. В случае необходимости эти трубы служат для пропуска скота или диких животных на путях их миграции. В практике дорожного строительства наряду с цельно-блочными секциями с отверстиями 2,0 м; 2,5 м; 3,0 м; 4,0 м используются прямоугольные трубы, состоящие из блоков: двух стеновых, лоткового и блока перекрытия, а также трубы из плитных элементов.

Прямоугольные трубы устраивают обычно с оголовками раструбного и коридорного типов; портальные оголовки применяются редко. Водопропускная способность безнапорных труб относительно невелика: круглые трубы с отверстием до 2 м могут пропустить расход воды до 12,5 м<sup>3</sup>/с, прямоугольные трубы сечением 6×3 м – до 63 м<sup>3</sup>/с.

Для безнапорного режима характерно протекание воды без заполнения отверстия трубы даже в том случае, когда перед насыпью горизонт воды расположен на уровне верха трубы или немного выше.

В настоящее время разработаны трубы круглого поперечного сечения отверстием до 2 м без входного и выходного оголовков. Для повышения водопропускной способности трубы предусматривается разме-

щение на ее входном участке горизонтальной, криволинейной или наклонной диафрагм. Звенья трубы располагаются по всей ширине подошвы насыпи.

По длине трубу независимо от типа оголовка составляют из однотипных секций, располагая их раструбом к входному оголовку. При соединении секций гладкий конец одной секции вводят в раструбное уширение другой, а образующийся зазор герметизируют.

За последнее время на автомобильных дорогах нашли широкое применение сборные железобетонные цилиндрические трубы с длинноразмерными звеньями, длина которых составляет 3,5 и 5,0 м. Типовые звенья труб изготавливают диаметром  $d = 1,0; 1,2; 1,4$  и 1,6 м.

Трубы из гофрированного металла применялись в практике дорожного строительства еще во второй половине XIX в. В России их прекратили строить в 1914 г. На основе фундаментальных исследований, выполненных в ЦНИИС, проектным институтом Ленгипротрансмост разработан типовой проект таких труб с диаметром отверстия 1,5–3 м и ведется их массовое строительство, прежде всего в труднодоступных северных и восточных районах страны.

Гофрированные трубы относятся к типу гибких, что позволяет им под нагрузкой лучшим образом приспособляться к условиям совместной работы с окружающей их грунтовой засыпкой.

Металлические трубы из гофрированной стали запроектированы из стандартных волнистых листов, скрепляемых болтами диаметром 15–20 мм; они могут применяться при насыпях высотой до 13 м (рис. 2.6). Материалом труб, предназначенных для обычных природно-климатических условий, может быть конструкционная медистая сталь марки 15СП, а для труб в северном исполнении – низколегированная сталь марки 09Г2Д. Размер гофра составляет 50 мм по высоте и 150 мм по длине при толщине стенки 1,5–2,5 мм.

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

Металлические гофрированные трубы устраивают безфундаментными. При глинистых грунтах концевые участки труб укладывают на специальную грунтовую подушку, обработанную цементом, а при песчаных грунтах концевые участки трубы опираются на лекальный блок и, кроме того, устраивают противодиффузионный экран.

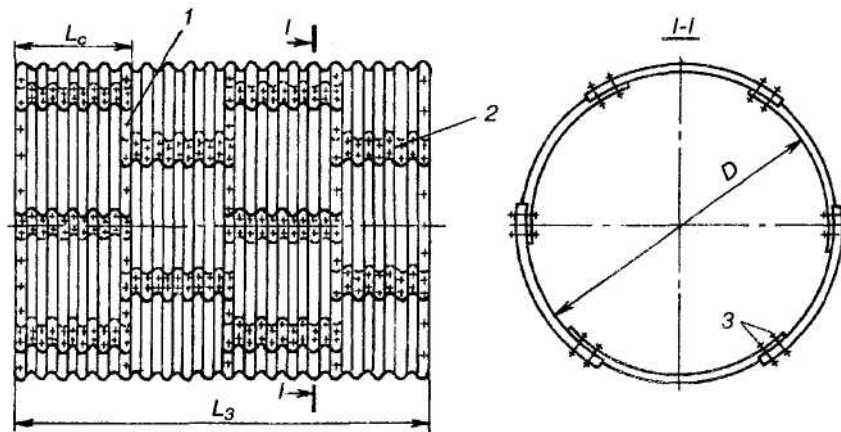


Рис. 2.6. Конструкция трубы из гофрированной стали:  
 $L_c$  – длина секции трубы;  $L_з$  – длина звена трубы; 1 – поперечный (кольцевой) стык; 2 – продольный стык; 3 – болты

В конструкции трубы отсутствуют специальные оголовки. Подводящие и отводящие русла должны быть надежно укреплены с целью защиты от размыва, особенно их выходной участок. Условием надежности таких труб в эксплуатации является хорошее уплотнение грунта засыпки (предпочтительно песчаным грунтом).



### 3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

#### 3.1. Исходные данные

Анализ исходных данных производится на основании выданного задания и охватывает экономическую характеристику региона прохождения дороги, интенсивность движения на двадцатилетнюю перспективу, определение пониженных мест на продольном профиле и установление характера поверхности бассейна: растительность, почвенный покров.

#### 3.2. Климатическая характеристика региона расположения дороги

Дается краткая климатическая характеристика с указанием дорожно-климатической зоны региона. Строится климатический график по следующим характеристикам: температуре воздуха, глубине промерзания почвы, высоте снежного покрова, господствующему направлению ветров.

Климатическая характеристика района определяется по СНиП 23-01–99 и справочному пособию к СНиП 23-01–99 [2]. Образец климатического графика приведен на рис. 3.1, 3.2.

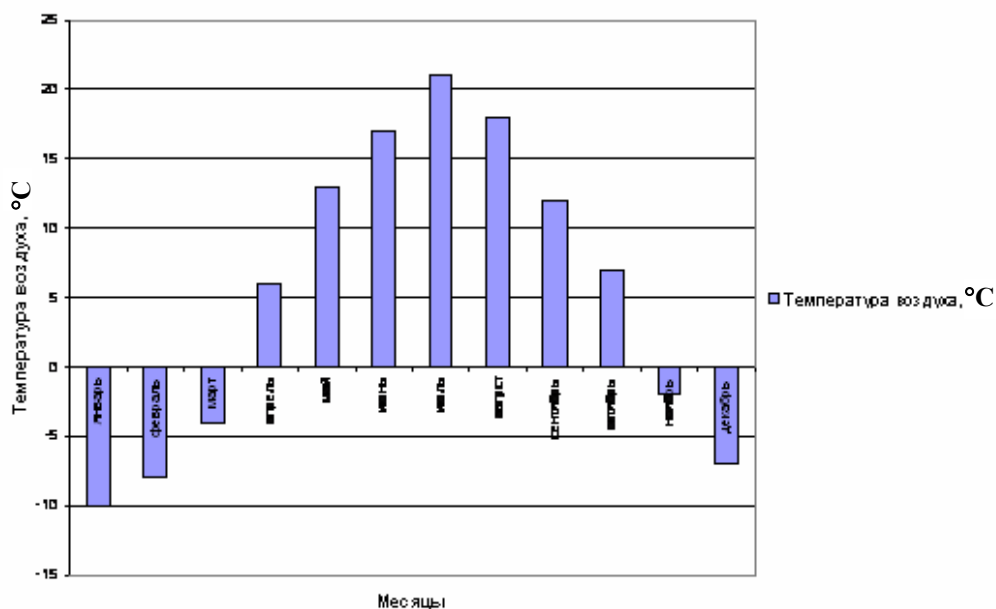


Рис. 3.1. Температура воздуха, °C

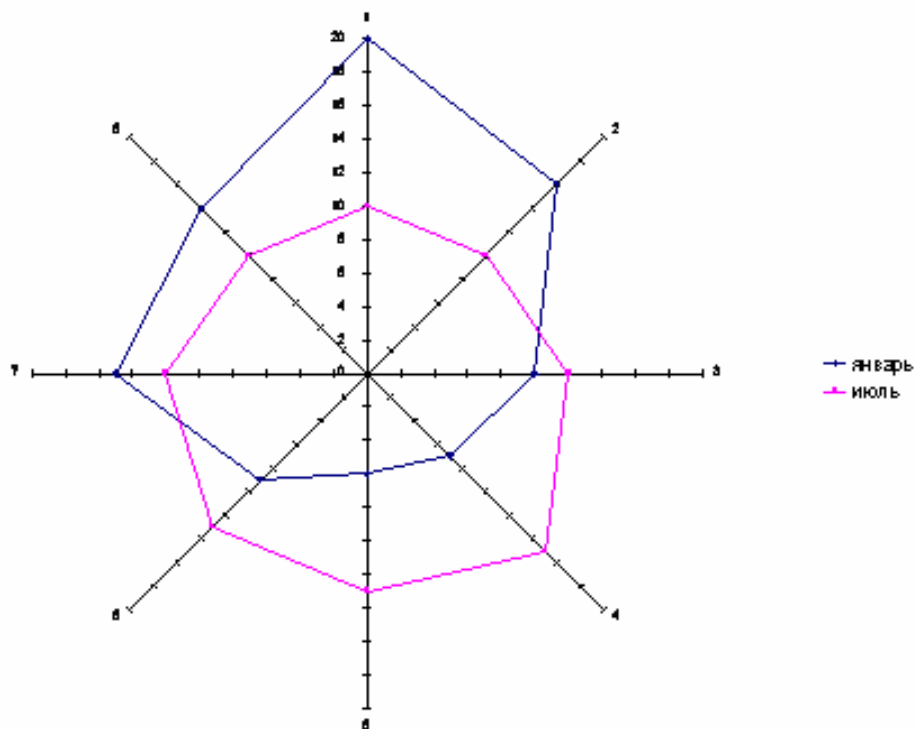


Рис. 3.2. Роза ветров

### 3.2. Гидрогеологические условия

По грунтовому разрезу продольного профиля делается попикетный анализ почвенно-грунтовых, геологических и гидрогеологических условий прохождения трассы строящейся дороги. Дается описание физико-механических свойств грунтов и устанавливается степень их пригодности для возведения земполотна.

По условиям отвода поверхностных вод и грунтово-геологическому профилю производится классификация участков земполотна по условиям увлажняемости.

Особо выделяются участки земполотна, проходящие в сложных почвенно-грунтовых, гидрологических и гидрогеологических условиях. К таким участкам относятся участки на засоленных грунтах, участки на болотах, на косогорах и оползневых местах, участки в движущихся песках, горные участки, участки в условиях вечной мерзлоты и другие.

## 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА

### 4.1. Определение площади водосборов

#### 4.1.1. Определение площади водосборного бассейна с помощью кальки и миллиметровки

Для определения расчетного расхода необходимо в процессе технических изысканий выполнить необходимые топографо-геодезические работы и обследования. Основными исходными данными являются план бассейна с характеристикой его площади, длины главного лога, среднего уклона лога, склонов. Кроме того необходимо установить характер поверхности бассейна: растительность, почвенный покров.

Для определения площади бассейна необходимо установить границы его на карте или на местности. Границей бассейна с одной стороны всегда является сама дорога, а с другой стороны – водораздельная линия, которая отделяет данный бассейн от соседних. Бассейн малых водопропускных сооружений на автомобильных дорогах снимают, как правило, по карте. При определении границ бассейна сначала устанавливают ближайшие к водопропускному сооружению точки перегиба местности на трассе (выпуклые переломы). Эти точки будут началом и концом водораздельной линии. Другие точки водораздельной линии определяют аналогично, при этом учитывают, что водораздел идет всегда перпендикулярно горизонталям и от него вода должна стекать в противоположные стороны. При отсутствии необходимых карт или когда водосборы выражены неясно, а также при площади бассейна не менее  $0,25 \text{ км}^2$  надлежит производить съемку водосборов в натуре.

Если местность открытая пересеченная и линии водоразделов ясно выражены, применяют съемку засечками. В этом случае на характерных точках водораздельной линии устанавливают вехи таким образом, чтобы их можно было видеть с двух или нескольких точек трассы. В этих точках устанавливается инструмент, который ориентируют по направлению трассы дороги. Последовательно визируя на выставленные вехи, замеряют углы между направлением трассы, принимаемой за базис, и визирными лучами на веху. На каждую веху должны быть сделаны взгляды не менее чем с двух точек трассы. На плане, ориентируясь на направление трассы, проводят визирные линии. Если из-за рельефа и растительности на поверхности бассейна нельзя выполнить съемку указанным методом, применяют обход по водоразделам. При этом расстояние между вехами определяют лентой или шагомером, а

углы поворота – по румбам или азимутам, измеренным буссолью или гониометром.

Если водораздел плоский и неясно выражен на поверхности, бассейн снимают ходами по тальвегам до водораздела. Измерив длины ходов и определив их направления, составляют план бассейнов. Площадь бассейна, очерченного по карте, определяется планиметром, палеткой или разбивкой бассейна на простейшие геометрические фигуры.

Площадь водосбора определялась по выданной топографической карте методом разбивки очерченного на ней бассейна на квадраты.

Лист кальки накладывался на карту и обводятся границы водосборного бассейна. Полученный план водосборного бассейна (в масштабе карты) накладывался на лист миллиметровой бумаги. Отмечают и пересчитывают все целые квадратные сантиметры ( $N_1$ ), которые поместились на плане. На оставшейся площади плана водосборного бассейна отмечают и пересчитывают количество квадратиков размером  $0,5 \times 0,5$  см ( $N_2$ ), затем пересчитывают оставшиеся неполные квадратики размером  $0,5 \times 0,5$  см ( $N_3$ ). Площадь водосборного бассейна, км, определяется по формуле

$$F = N_1 \cdot q_1 + N_2 \cdot q_2 + 2N_3 \cdot q_2, \quad (4.1)$$

где  $q_1$  – площадь (в масштабе карты)  $1 \text{ см}^2$ ;  
 $q_2$  – площадь (в масштабе карты)  $0,25 \text{ см}^2$ ;  
 $N_1, N_2, N_3$  – количество квадратов каждого размера.

#### 4.1.2. Способ палетки

Применяется при определении малых площадей размером  $100 \dots 200$  см. С этой целью изготавливается палетка из органического стекла или кальки. На нее наносится сетка с ячейками со стороной  $2$  мм. В зависимости от масштаба карты, по которой определяется площадь бассейна, находится цена деления каждой ячейки в квадратных километрах. Общее число ячеек в контуре, умноженное на цену деления, дает площадь контура.

#### 4.1.3. Планиметрирование

Рекомендуется при определении площади больших бассейнов. Для этой цели применяется планиметр. Обвод площади производится плавно, без перерыва, с одинаковой скоростью.

При планиметрировании углы между рычагами не должны быть менее  $30$  и более  $150$  град. Отсчет получают из четырех цифр. Первая

снимается с циферблата, две следующие – со счетного колеса, последняя – с верньера.

Для определения цены деления планиметра выбирается какая-либо правильная фигура (прямоугольник, квадрат, круг), которая обводится планиметром. Цена деления вычисляется по формуле

$$K = A/B, \quad (4.2)$$

где  $A$  – площадь выбранной фигуры в масштабе карты;

$B$  – площадь этой же фигуры в единицах планиметра.

#### 4.1.4. Графический способ

Площадь водосборного бассейна разбивается на ряд простейших геометрических фигур (треугольников, прямоугольников, квадратов и т.п.), определяется площадь каждой фигуры в соответствующем масштабе карты или плана, и затем эти площади суммируются (рис. 4.1):

$$F = f_1 + f_2 + \dots + /12, \quad (4.3)$$

где  $f_1, f_2, \dots, f_n$  – площади простейших геометрических фигур, на которые разбита площадь водосборного бассейна.

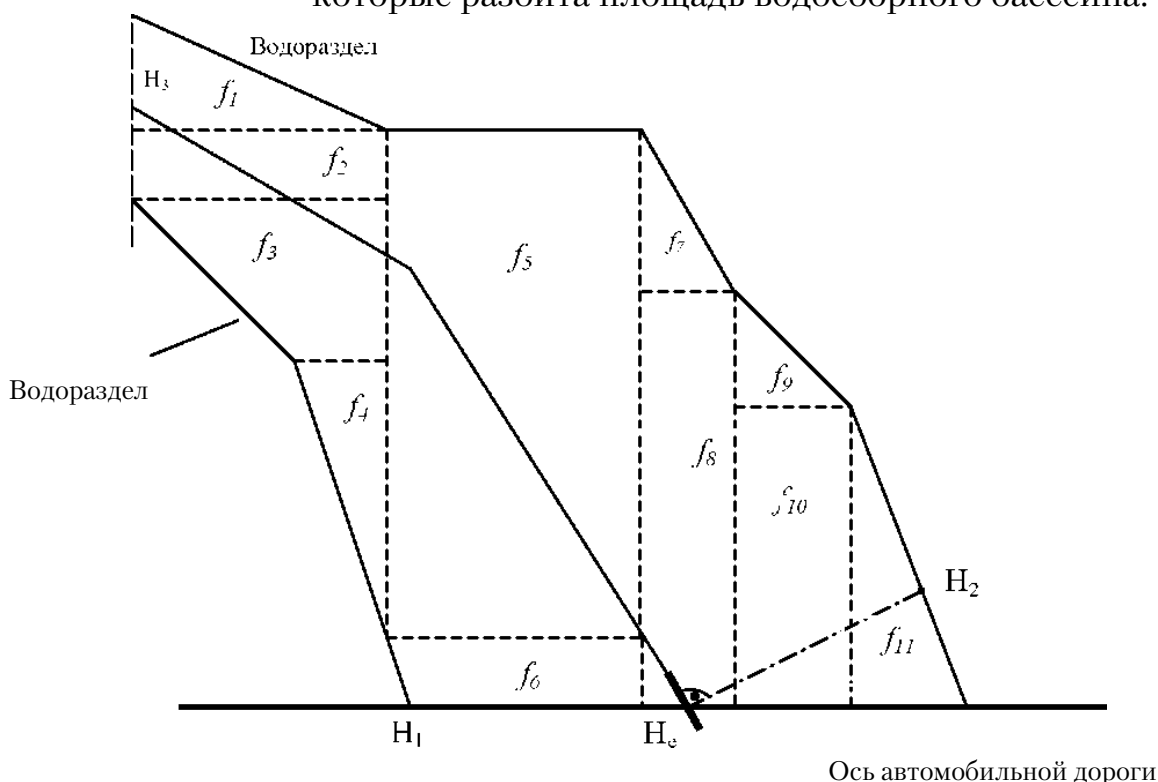


Рис. 4.1. Схема плана водосборного бассейна

Расчет максимальных расходов ведется по ливневому стоку и стоку талых вод. За расчетный расход принимается больший из них.

## 4.2. Определение длины и среднего уклона главного лога

Нанесенный на карте в горизонталях тальвег разбивается на ряд примерно прямых участков. Для упрощения расчетов начала и концы участков назначают на горизонталях. Определяются отметки начал и концов участков и строится развернутый продольный профиль главного лога.

Измеряется длина первого (от дороги) участка и откладывается в соответствующем масштабе на развернутом продольном профиле главного лога. Против начала и конца участка записываются их высотные отметки. То же самое делается со следующим участком, и так далее до вершины главного лога.

В общем случае уклон главного лога определяется между отметками лога у сооружения ( $H_c$ ) и отметкой верхней части лога ( $H_{вр}$ ), лежащей на водораздельной линии.

Уклон главного лога определяется по формуле:

$$i = (H_{вр} - H_c) / L, \quad (4.4)$$

где  $H_{вр}$  – отметка верхней точки тальвега;

$H_c$  – отметка лога у сооружения;

$L$  – длина главного лога, м, определяемая по формуле:

$$L = L_i \quad (4.5)$$

здесь  $L_i$  – длина  $i$ -го участка тальвега, снятая с карты.

## 4.3. Определение уклона лога у сооружения

Уклон лога у сооружения определяется как уклон между точками, одна из которых находится на 100–200 м по тальвегу выше сооружения, а другая – на 50–100 м по тальвегу ниже его.

При камеральной работе с картой или планом желательно назначать точки на горизонталях с тем, чтобы не заниматься расчетом их отметок. Но при этом стремятся к тому, чтобы определяемый уклон лога у сооружения был как можно ближе к реальному уклону местности. Следовательно, при назначении местоположения точки выше сооружения:  $H_v$  – точки 2, находящейся на расстоянии 200 м по тальвегу выше сооружения, в большей степени, чем точка 1, искажающей реальный уклон местности у сооружения, необходимо для расчета уклона лога использовать точку 1, её отметку и расстояние от сооружения.

К точке  $H_n$ , лежащей по тальвегу ниже сооружения, требования менее жесткие, так как вода, уже прошедшая сооружение, как правило, на

дорогу разрушающего действия не оказывает. Поэтому достаточно назначить ее на горизонтали, лежащей на 50–100 м ниже по тальвегу от сооружения, либо, если ближайшая горизонталь находится на расстоянии, превышающем 100 м, рассчитать отметку точки на тальвеге, отстоящей на 50 м от сооружения.

Уклон лога у сооружения рассчитывается по формуле

$$i_c = \frac{H_B - H_H}{L_B - L_H}, \quad (4.6)$$

где  $H_B$  – отметка точки выше сооружения;

$H_H$  – отметка точки ниже сооружения;

$L_B, L_H$  – расстояние по тальвегу от сооружения до верхней и нижней точек (рис. 4.2; 4.3), соответственно равные 200,00 и 100,00 м.

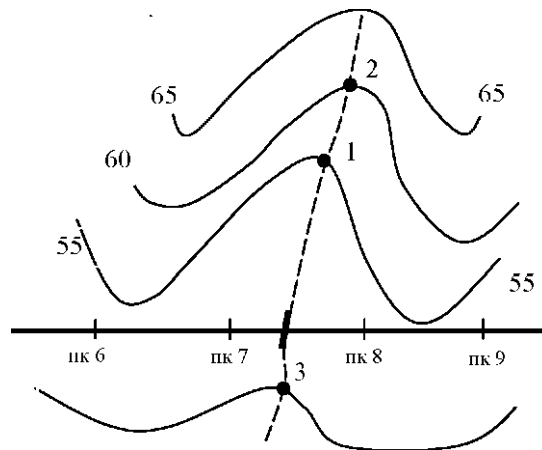


Рис. 4.2. План лога у сооружения

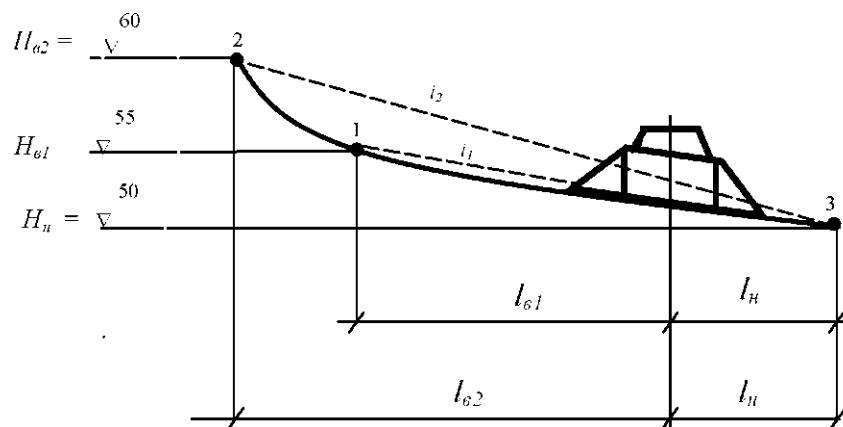


Рис. 4.3. Продольный профиль лога у сооружения

#### 4.4. Определение глубины лога перед искусственным сооружением

Малое искусственное сооружение, проектируемое для пропуска воды через дорогу, создаёт препятствие её нормальному (бытовому) течению, и в результате перед ним образуется подпор воды, характеризующийся отметками УПВ (уровень подпертых вод) или ГПВ (горизонт подпертых вод). При этом возможен случай, когда вода из одного лога будет переливаться через один из водоразделов (более низкий) в соседний водосборный бассейн и отрицательно влиять на пропускную способность расположенного там водопропускного сооружения и, отчасти, на земляное полотно дороги, вдоль которого она потечет. Чтобы этого не произошло, необходимо определить глубину лога перед сооружением, т.е. наименьшее возвышение водораздельной линии по оси дороги над отметкой лога у сооружения.

Для этого из двух отметок правого и левого водоразделов по оси дороги выбираем наименьшую и определяем глубину лога:

$$h_{\text{лев}} = H_{\text{лев}} - H_{\text{с}}, \text{ при } H_{\text{лев}} < H_{\text{пр}}; \quad (4.7)$$

$$h_{\text{пр}} = H_{\text{пр}} - H_{\text{с}}, \text{ при } H_{\text{пр}} < H_{\text{лев}}. \quad (4.8)$$

В общем случае для упрощения работы определяется на продольном профиле дороги отметка низшего водораздела и отметка пикета или плюсовой точки на противоположном склоне лога, несколько превышающая отметку низшего водораздела (рис. 4.4).

Полученную величину глубины лога у сооружения после расчёта сооружения сравниваем с подпором воды у искусственного сооружения  $H_{\text{упв}}$ , и если она оказывается меньше ( $H_{\text{упв}} > H_{\text{л}}$ ), то мы должны принять меры против вероятного перелива воды. Это может быть увеличение длины малого моста, увеличение числа очков у трубы либо отсыпка дамбы необходимых размеров на низком водоразделе.

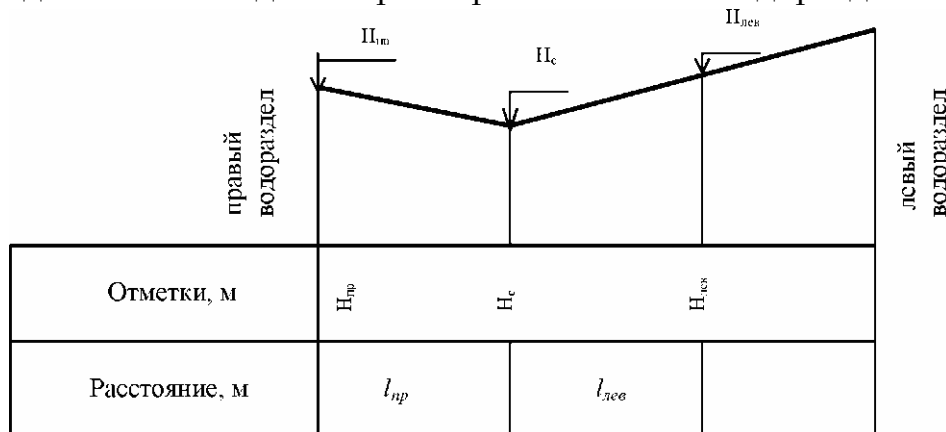


Рис. 4.4. Поперечный профиль лога у сооружения



#### 4.5. Определение коэффициентов заложения склонов лога

Форма поперечного сечения лога упрощенно представляется в форме треугольника (рис. 4.5). Местоположение правого и левого водоразделов определяется следующим образом: пикетажист становится лицом по направлению течения воды в логе, и водораздел, лежащий слева от него, будет левым, а справа – правым. Эта форма интересует нас лишь при необходимости учета аккумуляции воды перед сооружением.

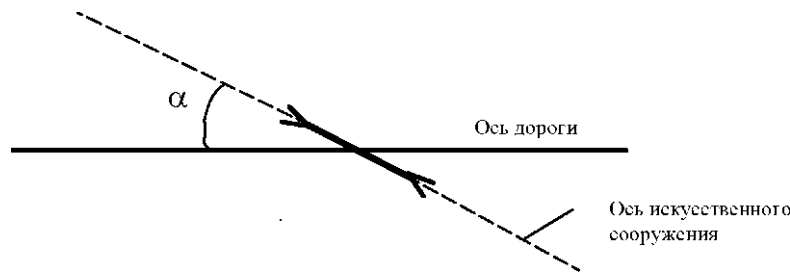


Рис. 4.5. Схема пересечения лога

Заложения откосов определяют натурной съёмкой поперечного сечения лога, которые замеряют на некотором расстоянии выше замыкающего створа или снимают с продольного профиля автомобильной дороги с поправкой на косину сечения – синус угла  $\alpha$  между осью дороги и осью искусственного сооружения (см. рис. 4.5).

Коэффициент заложения правого склона

$$m_{\text{пр}} = \frac{L_{\text{пр}}}{H_{\text{пр}} - H_{\text{с}}} \cdot \sin \beta \text{ м}, \quad (4.9)$$

где  $L_{\text{пр}}$  – расстояние от правого водораздела до лога сооружения;

$H_{\text{пр}}$  – отметка правого водораздела по оси дороги;

$H_{\text{с}}$  – отметка лога у сооружения;

$\beta$  – косина сооружения.

Аналогично определим заложение левого склона:

$$m_{\text{лев}} = \frac{L_{\text{лев}}}{H_{\text{лев}} - H_{\text{с}}} \cdot \sin \beta \text{ м}, \quad (4.10)$$

где  $L_{\text{лев}}$  – расстояние от левого водораздела до лога сооружения;

$H_{\text{лев}}$  – отметка левого водораздела по оси дороги;

$H_{\text{с}}$  – отметка лога у сооружения;

$\beta$  – косина сооружения.

#### 4.6. Определение коэффициентов залесенности, заболоченности, озерности

Если водосборный бассейн частично залесен, заболочен, резко неоднороден по почвам или имеет пруды и озера, то в гидрологических расчетах определяются относительная лесистость, заболоченность и озерность. Их вычисляют как отношение площадей лесов, болот, озер ко всей площади водосборного бассейна.

Площади озер, болот, лесов определяют аналогично площади водосборного бассейна – с помощью палетки, графическим или иным способом. Причем лес и кустарник на болотах в лесные угодья не включаются.

Расчет ведется по следующим формулам:

$$f_{оз} = \frac{100}{F} \cdot \sum_{i=1}^n S_i^{оз} \%, \quad (4.11)$$

где  $f_{оз}$  – коэффициент озерности, %;

$S_i^{оз}$  – площадь водной поверхности  $i$ -го озера, км<sup>2</sup>;

$F$  – площадь водосборного бассейна, км<sup>2</sup>.

$$f_6 = \frac{100}{F} \cdot \sum_{i=1}^n S_i^6 \%, \quad (4.12)$$

где  $f_6$  – коэффициент заболоченности, %;

$S_i^6$  – площадь поверхности  $i$ -го болота, км<sup>2</sup>;

$F$  – площадь водосборного бассейна, км<sup>2</sup>.

$$f_л = \frac{100}{F} \cdot \sum_{i=1}^n S_i^л \%, \quad (4.13)$$

где  $f_л$  – коэффициент залесенности, %;

$S_i^л$  – площадь поверхности  $i$ -го леса, км<sup>2</sup>;

$F$  – площадь водосборного бассейна, км<sup>2</sup>.

На основании выполненных расчетов составляется ведомость характеристик водосборных бассейнов (табл. 4.1).

Т а б л и ц а 4.1

Ведомость характеристик водосборных бассейнов

Наименование характеристик	Водопрпускные сооружения
	1
1	2
Пикетажное положение, ПК +	
Площадь бассейна, км <sup>2</sup>	

Окончание табл. 4.1

1	2
Длина главного лога, км	
Отметка лога у сооружения, м	
Отметка вершины лога, м	
Уклон главного лога, тыс.	
Уклон лога у сооружения, тыс.	
Отметка водораздела по оси дороги, м: – правого – левого	
Пикетажное положение водораздела по оси дороги, пк +: – правого – левого	
Угол пересечения с дорогой $\gamma$ , град.	
Глубина лога у сооружения, м	
Коэффициент заложения склонов по оси дороги: – правого – левого	
Озерность, %	
Заболоченная площадь, %	
Залесенная площадь, %	

## 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО СТОКА СООРУЖЕНИЯ

### 5.1. Расчет расхода ливневого стока

Количество воды, притекающей к сооружению с малого водосбора, поддается теоретическому расчету. Однако при этом неизбежны некоторые допущения. Наиболее трудно учесть ход дождя во времени, ход снеготаяния и впитывания воды в почву.

Ливневые воды притекают к сооружению по почти треугольному гидрографу. Максимальный расход, т.е. наибольшая ордината гидрографа, наблюдается весьма короткое время, однако он является расчетной величиной, подлежащей обязательному определению.

СНиП 2.01.14–83 «Определение расчетных гидрологических характеристик» рекомендует для малых водосборов использовать расчет ливневого стока, пользуясь принципом предельных интенсивностей, но необходимых расчетных формул для определения объема стока не дает.

Способом расчета, основанным на принципе предельных интенсивностей и дающим все необходимые характеристики ливневого стока, используемые в дорожном проектировании, является способ, разработанный в МАДИ и Ташкентском автомобильно-дорожном институте. При этом способе расчета рекомендуется использовать характеристики метеорологических факторов стока, установленные Союздорпроектом. Так называемый коэффициент неполноты стока (редукции) также следует принимать по нормам Союздорпроекта.

Для расчета ливневого стока необходимо задаться исходными данными (табл.5.3).

Расчетный расход ливневого стока вычислим по формуле:

$$Q_{\text{л}} = 16,7 \cdot \alpha_{\text{расч}} \cdot F \cdot \varphi, \quad (5.1)$$

где  $\alpha_{\text{расч}}$  – расчетная интенсивность ливня, зависящая от ВП, продолжительности ливня и района строительства дороги (мм/мин), вычисляемая по формуле:

$$\alpha_{\text{расч}} = \alpha_{\text{ч}} K_t; \quad (5.2)$$

здесь  $\alpha_{\text{ч}}$  – интенсивность ливня часовой продолжительности, определяется по табл. 5.1.

$K_t$  – коэффициент перехода от ливневой часовой интенсивности к расчетной, определяемый по табл. 5.2;

$F$  – площадь водосбора, км<sup>2</sup>;

$\varphi$  – коэффициент редукции, вычисляемый по формуле:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt[4]{10 \cdot F}}. \quad (5.3)$$

Расход полного стока определим по формуле:

$$Q_{\text{п}} = 87,5 \cdot \alpha_{\text{ч}} \cdot F, \quad (5.4)$$

Объем ливневого стока вычислим по формуле:

$$W = \frac{60000 \cdot \alpha_{\text{ч}} \cdot F}{\sqrt{K_t} \cdot \sqrt[4]{10 \cdot F}}, \quad (5.5)$$

Т а б л и ц а 5 . 1

Интенсивность ливня  $\alpha_{\text{ч}}$

Район	Интенсивность ливня часовой продолжительности, мм/мин, при вероятности превышения, %							
	10	5	4	3	2	1	0,3	0,1
1-й	0,22	0,27	0,29	0,32	0,34	0,40	0,49	0,57
2-й	0,29	0,36	0,29	0,42	0,45	0,50	0,61	0,75
3-й	0,29	0,41	0,47	0,52	0,58	0,70	0,95	1,15
4-й	0,45	0,59	0,64	0,69	0,74	0,90	1,14	1,32
5-й	0,46	0,62	0,69	0,75	0,82	0,97	1,26	1,48
6-й	0,49	0,65	0,73	0,81	0,89	1,01	1,46	1,79
7-й	0,54	0,74	0,82	0,89	0,97	1,15	1,50	1,77
8-й	0,79	0,98	1,07	1,15	1,24	1,41	1,78	2,07
9-й	0,81	1,02	1,11	1,20	1,28	1,48	1,83	2,14
10-й	0,82	1,11	1,23	1,35	1,46	1,74	2,25	2,65

Т а б л и ц а 5 . 2

Коэффициент  $K_t$

$L, \text{ км}$	Значения $K_t$ при уклоне бассейна $i$							
	0,0001	0,001	0,01	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,15	4,21							
0,30	2,57	3,86						
0,50	1,84	2,76	3,93					
0,75	1,41	2,08	2,97	4,50	5,05			
1,0	1,16	1,71	2,53	3,74	4,18	4,50	4,90	5,18
1,25	1,00	1,49	2,20	3,24	3,60	3,90	4,23	4,46
1,50	0,88	1,30	1,93	2,82	3,15	3,40	3,70	3,90
1,75	0,80	1,18	1,75	2,58	2,84	3,06	3,33	3,52
2,0	0,73	1,07	1,59	2,35	2,64	2,85	3,09	3,27
2,5	0,63	0,92	1,37	2,02	2,26	2,44	2,65	2,80
3,0	0,56	0,82	1,21	1,79	2,0	2,16	2,34	2,49
3,5	0,50	0,74	1,10	1,62	1,81	1,95	2,12	2,31
4,0	0,46	0,68	1,0	1,48	1,65	1,78	1,94	2,11
4,5	0,42	0,62	0,93	1,37	1,53	1,65	1,78	1,95
5,0	0,40	0,58	0,86	1,27	1,42	1,54	1,67	1,82
6,0	0,35	0,52	0,76	1,13	1,26	1,36	1,48	1,61

Окончание табл. 5.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6,5	0,33	0,49	0,73	1,07	1,20	1,29	1,40	1,53
7,0	0,32	0,47	0,69	1,02	1,14	1,23	1,33	1,45
8,0	0,29	0,43	0,63	0,93	1,04	1,12	1,22	1,33
9,0	0,27	0,39	0,58	0,86	0,96	1,04	1,13	1,23
10,0	0,25	0,37	0,54	0,80	0,90	0,97	1,05	1,14
11,0	0,23	0,34	0,51	0,75	0,84	0,91	0,98	1,07
12,0	0,22	0,32	0,48	0,71	0,79	0,86	0,93	0,93
13,0	0,21	0,31	0,46	0,67	0,75	0,81	0,88	0,96
14,0	0,20	0,29	0,43	0,64	0,72	0,79	0,84	0,91
15,0	0,19	0,28	0,41	0,61	0,68	0,74	0,80	0,87
20,0	0,16	0,23	0,34	0,50	0,56	0,61	0,66	0,72

Таблица 5.3

## Вероятность превышения паводка

Сооружения	ВП, %
Постоянные мосты на дорогах I–III категорий и трубы на дорогах I категории	1
Постоянные мосты на дорогах IV–V категорий и трубы на дорогах II–III категорий	2
Деревянные мосты и трубы на дорогах IV и V категории	3
Водоотводные сооружения с поверхности дорог и мостов на дорогах I–II категорий	1
Водоотводные сооружения с поверхности дорог и мостов на дорогах III категории	2
Водоотводные сооружения с поверхности дорог и мостов на дорогах IV категории	3
Водоотводные каналы на дорогах I–II категорий	2
Водоотводные каналы на дорогах III категории	3
Водоотводные каналы на дорогах IV–V категорий	4

При расположении проектируемой дороги на границе ливневых районов интенсивность ливня принимается по ее большему табличному значению (рис. 5.1).

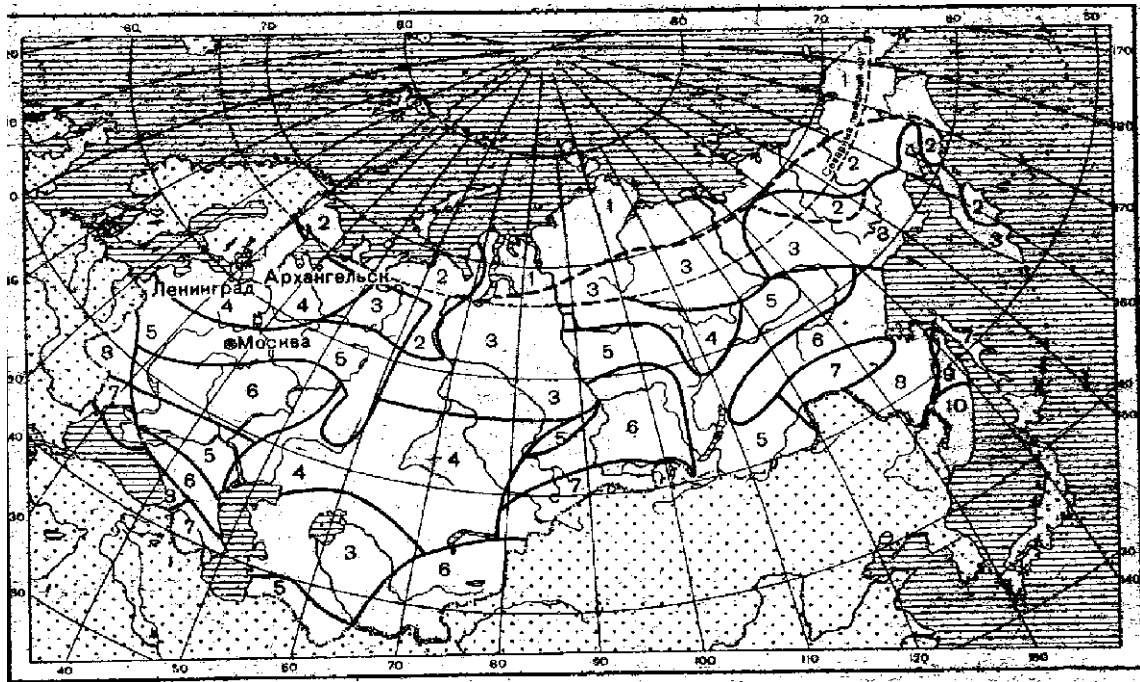


Рис. 5.1. Карта ливневого районирования

Результаты расчета ливневого стока сводим в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Ведомость расчета ливневого стока

Пикетажное положение	Площадь бассейна, км <sup>2</sup>	Часовая интенсивность дождя, мм/мин	Коэффициент $K_t$	Расчетный расход ливневого стока, м <sup>3</sup> /с	Объем ливневого стока, м <sup>3</sup>

## 5.2. Расчет расхода стока талых вод

Расчет стока талых вод с малых водосборов ведется на основании СНиП 2.01.14–83 «Определение расчетных гидрологических характеристик». Расчетный максимальный расход талых вод определяется по формуле

$$Q_T = \frac{K_o \cdot h_p \cdot F}{(F+1)^n} \cdot \delta_1 \cdot \delta_2, \quad (5.6)$$

где  $K_o$  – коэффициент дружности половодья, принимают: в зонах тундры и леса 0,01, для Западной Сибири 0,013, в зонах лесостепи и степи 0,02–0,03, в зоне полупустынь 0,06;

$n$  – показатель степени, в формуле максимального расхода в большинстве случаев принимается равным 0,25. Для тундры и лесной зоны европейской территории Российской Федерации и Восточной Сибири он снижается до 0,17;

- $h_p$  – слой стока талых вод той же вероятности превышения, что и расчетный расход, м;  
 $F$  – площадь водосборного бассейна, км<sup>2</sup>;  
 $\delta_1$  – коэффициент, учитывающий залесенность, вычисляется по формуле:

$$\delta_1 = \frac{1}{F_{л} + 1}, \quad (5.7)$$

здесь  $F_{л}$  – залесенность бассейна;

- $\delta_2$  – коэффициент, учитывающий заболоченность, вычисляется по формуле:

$$\delta_2 = 1 - 0,7 \cdot \lg(0,1 \cdot F_6 + 1), \quad (5.8)$$

здесь  $F_6$  – заболоченность бассейна.

Чаще всего значения коэффициентов  $\delta_1$  и  $\delta_2$  принимают равными 1.

Слой стока  $h_p$  устанавливается на основе натурных наблюдений. В связи с тем, что натурные наблюдения за стоком талых вод с малых водосборов практически не производились, можно воспользоваться картой (рис. 5.2), где приведены значения лишь средних слоев стока. Переход к слоям стока расчетной вероятности превышения осуществляют путем введения множителя  $K_p$  (рис. 5.3), выбранного для соответствующего коэффициента вариации  $C_v$ , определяемого по карте (рис. 5.4) для заданного района проектирования.

Коэффициент асимметрии  $C_s$  для равнинных водосборов принимается равным  $C_s = 2C_v$ . Для пересеченной и горной местности, где в формировании максимального стока участвуют дождевые осадки, принимается  $C_s = 3C_v$ .

Окончательно  $h_p$  определяется по формуле

$$h_p = K_p \cdot \bar{h}, \quad (5.9)$$

где  $\bar{h}$  – средний многолетний слой стока, определяемый по карте (см. рис. 5.2);

$K_p$  – коэффициент перехода к расчетному значению слоя стока.

Данные, приведенные на карте среднего слоя стока, соответствуют условиям, что площадь бассейна больше 100 км<sup>2</sup> на европейской территории и 1000 км<sup>2</sup> на азиатской территории. При меньших бассейнах вводят поправочные коэффициенты: при холмистом рельефе и глинистых почвах – 1,1, при плоском рельефе и песчаных почвах – 0,9, при особо больших потерях стока (сосновые леса на песках) – 0,5.



Коэффициент  $K_p$  определяется по кривым модульных коэффициентов слоев стока для соответствующей вероятности превышения.

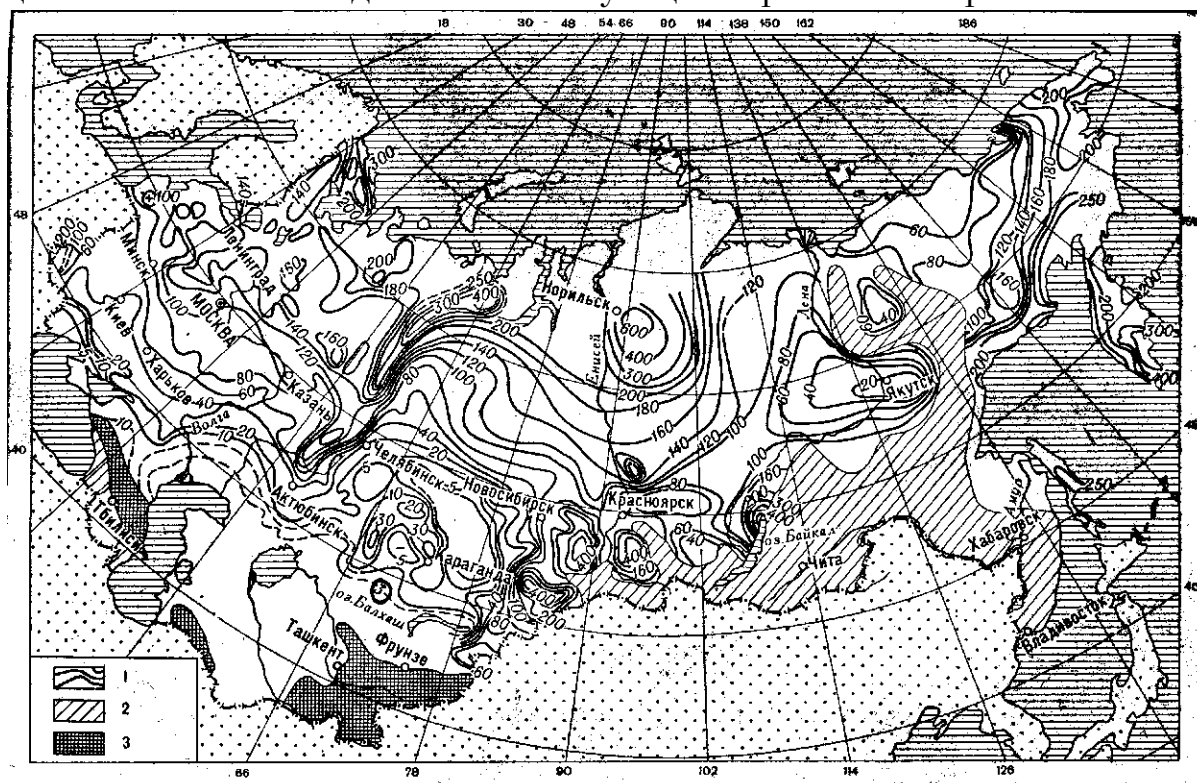


Рис. 5.2. Карта среднего многолетнего слоя стока талых вод: 1 – районы, в которых расчетными являются максимальные расходы половодья, за исключением малых водосборов, и изолинии среднего слоя стока половодья, мм; 2 – районы, в которых расчетными являются максимальные расходы дождевых паводков; 3 – горные районы, в которых весеннее половодье не выделяется

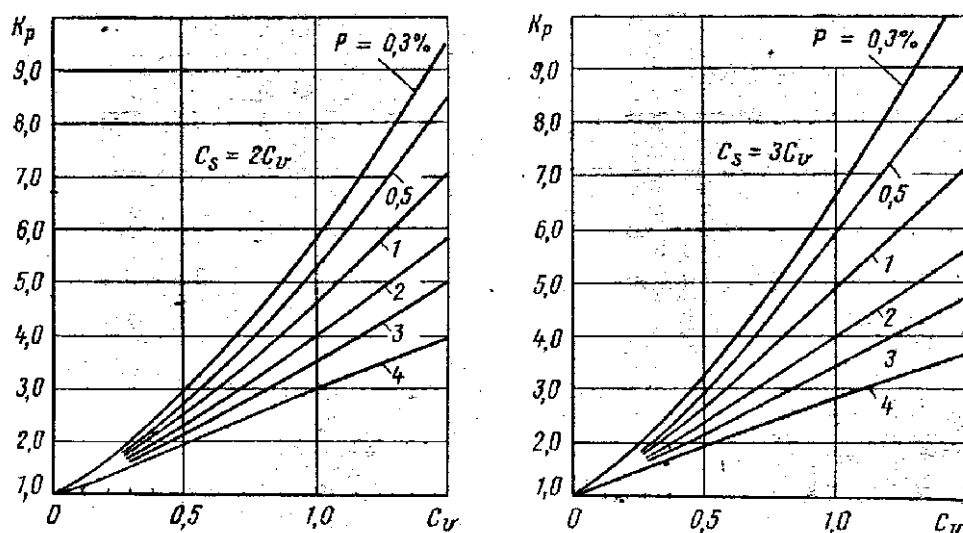


Рис. 5.3. Модульные коэффициенты при гамма-параметрическом законе распределения

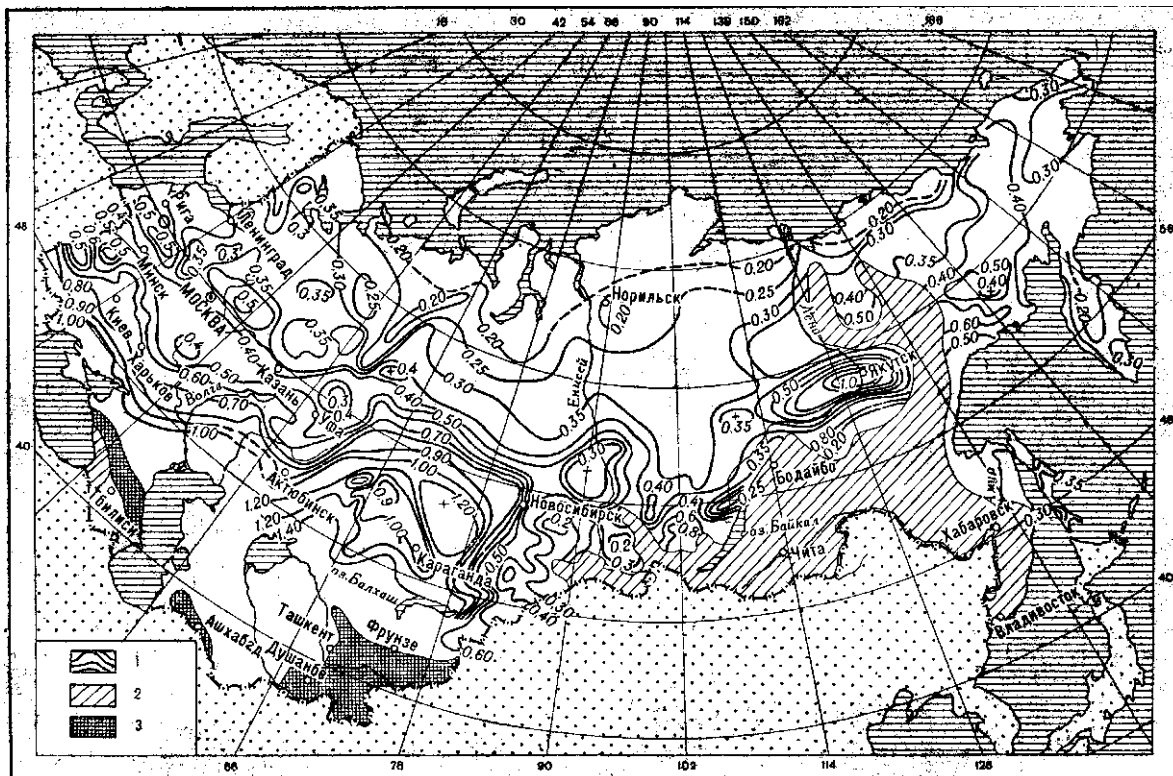


Рис. 5. 4. Карта коэффициентов вариации слоя стока половодий:  
 1 – районы, в которых расчетными являются максимальные расходы половодий; 2 – районы, в которых расчетными являются максимальные расходы дождевых паводков; 3 – горные районы, в которых весеннее половодье не выделяется

Результаты расчета стока талых вод заносим в табл. 5.5–5.6.

Таблица 5.5

Ведомость расчета стока талых вод

Пикетажное положение пк +	Площадь бассейна, м <sup>2</sup>	Расчетный слой стока талых вод, мм	Коэффициенты				Расход стока талых вод, м <sup>3</sup> /с
			вариации, $C_v$	$K_p$	$\delta_1$	$\delta_2$	

Таблица 5.6

Ведомость расчета расхода стока

Пикетажное положение, пк +	Площадь бассейна, м <sup>2</sup>	Расход ливневого стока, м <sup>3</sup> /с	Расход стока талых вод, м <sup>3</sup> /с	Расчетный расход стока, м <sup>3</sup> /с

Для выполнения расчета малых дорожных водопропускных сооружений из двух расчетных расходов, ливневого стока и стока талых вод, для каждого водосборного бассейна выбираем наибольший и принимаем его в качестве расчетного.

## 6. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ

### 6.1 Определение пропускной способности трубы при безнапорном режиме

Безнапорный режим характеризуется незатопленным входным отверстием и работой трубы неполным сечением, что отвечает условию: условие безнапорного режима протекания воды:

$$H \leq 1,2d, \quad (6.1)$$

где  $H$  – глубина воды перед трубой, м;  
 $d$  – диаметр отверстия трубы, м;  
условие пропускной способности трубы:

$$Q_p < Q_c, \quad (6.2)$$

где  $Q_p$  – расчетный расход воды, м<sup>3</sup>/с  
 $Q_c$  – пропускная способность трубы, м<sup>3</sup>/с.

Определяем количество очков:

$$n^I = \frac{Q_p}{Q_T}, \quad (6.3)$$

где  $Q_T$  – расход трубы, м<sup>3</sup>/с.

Определяем расчетный расход стока воды, приходящийся на одно очко:

$$Q_p^I = \frac{Q_p}{n^I}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (6.4)$$

Принимаем по выбранному расходу диаметр трубы и скорость воды на выходе (табл. 6.1).

Критическая скорость  $V_{кр}$ , м/с, определяется по формуле:

$$V_{кр} = 0,9V_c \quad (6.5)$$

где  $V_c$  – скорость в сжатом сечении, м/с.

Критическая глубина  $h_{кр}$ , м, определяется по формуле:

$$h_{кр} = \frac{V_{кр}^2}{2g}, \quad (6.6)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Глубина воды в сжатом сечении  $h_c$ , м:

$$h_c = 0,9h_{кр}. \quad (6.7)$$

Подпор воды перед трубой определяется по формуле,  $H$ , м:

$$H = h_c + \frac{V_c^2}{2g\varphi^2}, \quad (6.8)$$

где  $\varphi$  – коэффициент скорости.

Произведем проверку выбранной трубы на высоту подпора трубы по формуле (6.1).

Произведем проверку пропускной способности выбранной трубы. Пропускная способность трубы  $Q_c$ , м<sup>3</sup>/с, при безнапорном режиме определяется по формуле:

$$Q_c = \varphi\omega_c\sqrt{2g(H - h_c)}, \quad (6.9)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с<sup>2</sup>;

$\omega_c$  – площадь сжатого сечения потока, вычисляемая по [2, рис. XIV.15].

Т а б л и ц а 6 . 1

Гидравлическая характеристика типовых труб. Круглые трубы

Отверстие трубы, м	Безнапорный режим			Полунапорный режим		
	расход воды, м <sup>3</sup> /с	глубина воды перед трубой, м	скорость воды на выходе из трубы, м/с	расход воды, м <sup>3</sup> /с	глубина воды перед трубой, м	скорость воды на выходе из трубы, м/с
1	2	3	4	5	6	7
1,00	0,50	0,64	1,70	1,70	1,27	3,60
	1,00	0,94	1,90	2,30	1,39	4,90
	1,40	1,15	3,30	2,50	2,12	5,30
	1,50	1,27	3,50	2,80	2,54	6,00
1,20	1,00	0,87	2,80	2,60	1,53	3,80
	1,50	1,00	3,20	3,00	1,78	4,40
	2,00	1,29	3,50	3,50	2,16	5,20
	2,50	1,30	3,80	4,05	2,65	6,00
	2,60	1,32	3,90			
1,40	2,50	0,86	1,35	3,80	1,76	4,10
	2,80	0,91	1,46	4,30	2,02	4,70
	3,00	0,96	1,54	4,70	2,25	5,10
	3,80	1,06	1,78	5,50	2,76	6,00
1,60	2,50	1,30	3,50	5,30	2,01	4,40
	3,00	1,47	3,80	6,00	2,30	5,00
	3,50	1,55	3,80	6,50	2,54	5,40
	4,00	1,70	4,00	7,00	2,79	5,80
	4,50	1,82	4,20	7,25	2,92	6,00
	5,00	1,84	4,30			
	5,30	2,02	4,40			

## 6.2. Расчет отверстий труб с учетом аккумуляции воды у сооружения

Малые водопропускные сооружения (мосты, трубы) почти всегда сильно стесняют поток и изменяют его бытовой режим. Временное накопление части воды перед сооружением приводит к снижению расчетного сбросного расхода ливневых вод в сооружении  $Q_c$  по сравнению с наибольшим секундным притоком  $Q_{пр}$ , что приводит к значительному уменьшению отверстий сооружений. Расход воды в отверстиях сооружения определяется высотой подпора воды над входным лотком.

При проектировании аккумуляции необходимо учитывать возможное затопление ценных угодий, подтопление населенных пунктов и т.п. По соображениям агрономического характера следует учитывать продолжительность затопления различных угодий, которая не должна превышать более одних суток. Для заливных лугов, рисовых полей этот срок может быть удлинён по согласованию с местными агрономами.

Аккумуляцию стока учитывают:

- а) при расчете по ливневому стоку. В качестве исключения аккумуляция может учитываться при расчетах по снеговому стоку в случаях отсутствия снеговых заносов в логах перед сооружением;
- б) при относительно пологих, развалистых или слабовыраженных логах периодических водотоков;
- в) при условии, что образующийся пруд перед сооружением не вызовет затопления полезных угодий, дорог, населенных пунктов.

Создание пруда перед сооружением может привести к существенному уменьшению наибольшего расхода воды, проходящей через сооружение. Согласно требованиям СН 200–62, при нормальных условиях эксплуатации допускается общее снижение расхода максимально в 3 раза, т.е. расчетный расход для сооружения не должен быть меньше 33 % от расчетного расхода с водосброса.

Аккумуляцию стока не учитывают:

- а) на постоянных водотоках;
- б) при расчетах отверстий средних и больших мостов;
- в) при крутых, ярко выраженных логах, при узких сосредоточенных и беспойменных руслах водотоков;
- г) в районах с мусонными осадками (районы Приморья, Дальнего Востока, Черноморского побережья Кавказа, Прикарпатья и т.п.).

Аккумуляция учитывается во всех случаях расчета по преобладающему ливневому стоку. В результате аккумуляции воды перед трубой образуется пруд (рис. 6.1). Время прохождения воды через трубу уве-

личивается по сравнению с продолжительностью паводка, вследствие чего происходит снижение расчетного сбросного расхода в сооружении  $Q_c$  по сравнению с максимальным паводочным расходом  $Q_p$ , что приводит к значительному уменьшению отверстия трубы. Расчет производится по ливневому стоку с соблюдением условия  $Q_c \geq Q_T$ . Порядок определения расчетного сбросного расхода в сооружении с учетом аккумуляции следующий:

1. Вычисляется объем стока  $W$ , м<sup>3</sup>, по формуле:

$$W = 60000 \frac{\alpha_{\text{ч}} F \varphi}{\sqrt{K_t}}, \quad (6.10)$$

где  $\alpha_{\text{ч}}$  – интенсивность ливня часовой продолжительности в зависимости от ливневого района и вероятности превышения максимальных расходов расчетных паводков, мм/мин;

$\varphi$  – коэффициент редукции, определяемый по формуле (5.3);

$K_t$  – коэффициент перехода от интенсивности ливня часовой продолжительности к интенсивности ливня расчетной продолжительности.

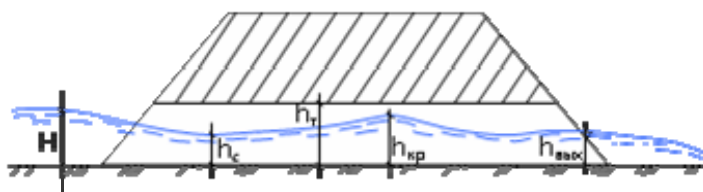


Рис. 6.1. Протекание воды в трубе при безнапорном режиме

2. Определяется крутизна склонов  $m_1$  и  $m_2$ .

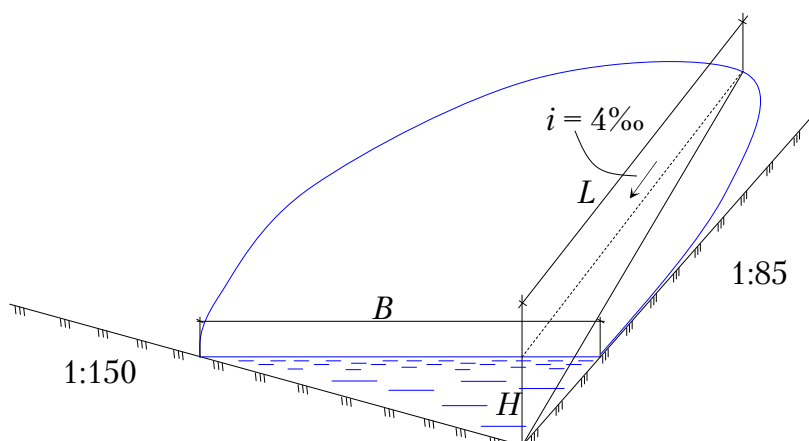


Рис. 6.1. Аккумуляция воды перед сооружением

3. Для ряда значений  $H$  (с интервалом 0,5 м) в форме таблицы вычисляются объемы пруда аккумуляции  $W_{\text{пр}}$ , м<sup>3</sup>, по формуле:

$$W_{\text{пр}} = \frac{m_1 + m_2}{6i_{\text{л}}} H^3, \quad (6.11)$$

где  $H$  – максимальная глубина в пониженной точке живого сечения при расчетном уровне подпертых вод, м;  
 $m_1, m_2, i_{\text{л}}$  – крутизна склонов лога и его уклон,  
а также расчетный расход  $Q_c$  по формуле:

$$Q_c = Q_{\text{л}} \left( 1 - \frac{W_{\text{пр}}}{K_{\text{г}} W} \right), \quad (6.12)$$

где  $Q_{\text{л}}$  – максимальный расход дождевых вод, м<sup>3</sup>/с, определяемый по формуле (5.1);

$W_{\text{пр}}$  – объем пруда аккумуляции перед сооружением, м<sup>3</sup>, вычисляется по формуле (6.11);

$W$  – объем ливневого стока, м<sup>3</sup>, вычисленный по формуле (6.10);

$K_{\text{г}}$  – коэффициент, учитывающий форму расчетного гидрографа паводка. Для немуссонных районов равен 0,7.

4. По данным гидравлических характеристик типовых труб [2, табл. XIV, с. 471] строят график пропускной способности  $Q_{\text{тр}} = f(H)$  трубы данного отверстия и режима протекания и график  $Q_c = f(H)$  по данным табл. 6.2. Искомый расчетный сбросной расход с учетом аккумуляции  $Q_c$  и величина подпора  $H$  соответствуют точке пересечения двух графиков  $Q_c$  и  $Q_{\text{тр}}$ .

Т а б л и ц а 6 . 2

Определение расчетных сбросных расходов  
при различных величинах  $H$

Номер точки	$H$ , м	$H^3$ , м <sup>3</sup>	$W_{\text{пр}}$ , м <sup>3</sup>	$W_{\text{пр}}/K_{\text{г}} W$	$Q_c$ , м <sup>3</sup> /с
				0	

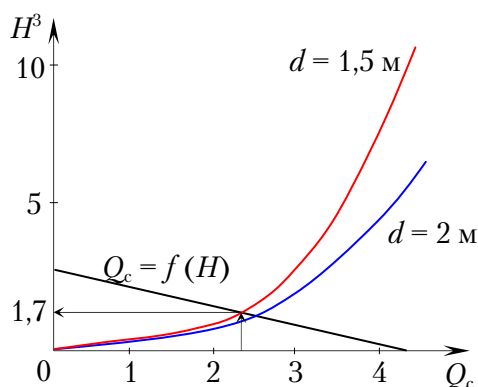


Рис. 6.2. Графо-аналитический способ расчета труб с учетом аккумуляции

### 6.3. Определение высоты насыпи земполотна над трубой и длины трубы

При безнапорном режиме минимальная высота насыпи по верхней бровке  $H_{\text{нас(мин)}}$  принимается исходя из формулы:

$$H_{\text{нас(мин)}} = h_{\text{тр}} + \delta + \Delta + h_{\text{до}}, \quad (6.13)$$

где  $h_{\text{тр}}$  – высота трубы в свету, м;

$\delta$  – толщина стенки трубы, м;

$\Delta$  – минимальная толщина засыпки над звеньями трубы, принимаемая для всех типов труб на автомобильных и городских дорогах при безнапорном режиме равной 0,5 м (считая от верха трубы до низа дорожной одежды) и равной 1,0 м при полунапорном и напорном [3];

$h_{\text{до}}$  – толщина дорожной одежды, м.

При полунапорном и напорном режимах высота насыпи равна:

$$H_{\text{нас(мин)}} = H_{\text{подпор}} + \Delta.$$

Эти минимальные отметки бровки насыпи у труб являются контрольными отметками при нанесении проектной линии продольного профиля.

Наименьшая длина трубы достигается при пересечении водотока под прямым углом к дороге.

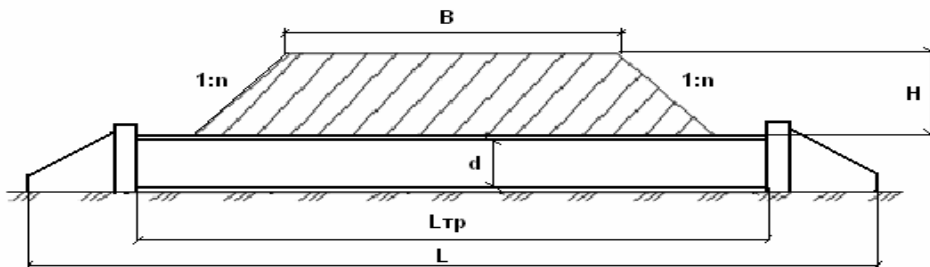


Рис. 6.3. Определение длины трубы

Длина водопропускной трубы зависит от высоты насыпи у трубы, которая определяется по продольному профилю, и от угла, который образует ось трубы с осью дороги.

$$L = \left[ \frac{0,5 \cdot B + m \cdot (H_{\text{нас}} - h_{\text{тр}})}{1 + m \cdot i_{\text{тр}}} + \frac{0,5 \cdot B + m \cdot (H_{\text{нас}} - h_{\text{тр}})}{1 - m \cdot i_{\text{тр}}} + n \right] \cdot \frac{1}{\sin \alpha}, \text{ м, (6.14)}$$

где  $B$  – ширина земляного полотна, м;

$m$  – коэффициент заложения откосов насыпи;



- $H_{\text{нас}}$  – высота насыпи у трубы, определяемая по продольному профилю, при условии, что она должна быть больше или равна минимальной высоте насыпи  $H_{\text{мин}}$ ;
- $h_{\text{тр}}$  – высота трубы в свету, м;
- $i_{\text{тр}}$  – уклон трубы, принимаемый равным уклону лога у сооружения;
- $\alpha$  – угол между осью дороги и осью трубы.

#### 6.4. Расчет укрепления русла и откосов у водопропускных труб

Важной частью труб является лоток с продольным уклоном по направлению течения воды внутри трубы. Скорости потока на выходе за малыми водопропускными сооружениями достигают 5...6 м/с, в то время как допускаемые скорости для грунтов в неукрепленных отводящих руслах составляют 0,7...1 м/с. В связи с этим наблюдаются местные размывы за сооружениями и поэтому расчеты выходных участков имеют такое же важное значение, как и определение их отверстий.

Длина участка укрепления от размыва за трубой будет равна:

$$l_{\text{укр}} = (2...3) \cdot d(b) \text{ м}, \quad (6.15)$$

где  $d(b)$  – диаметр (ширина) водопропускной трубы, м.

При известной длине укрепления  $l_{\text{укр}}$  глубина воронки размыва за ним может быть подсчитана приближенно по методу О.В. Андреева. Порядок расчета следующий:

1. Определяем отношение  $\frac{l_{\text{укр}}}{b}$ .
2. Находим величину  $\frac{\Delta}{H}$  в зависимости от отношения  $\frac{l_{\text{укр}}}{b}$  по [2, табл. XIV.26]:
3. Вычисляем глубину воронки размыва за жестким укреплением:

$$\Delta = \left( \frac{\Delta}{H} \right) \cdot H, \text{ м}. \quad (6.16)$$

Глубина ковша размыва будет равна:

$$h_{\text{укр}} = \Delta + 0,50, \text{ м}. \quad (6.17)$$

Длину зуба укрепления вычислим по формуле:

$$l_{\text{укр.зуба}} = \sqrt{2 \cdot h_{\text{укр}}^2}, \text{ м}. \quad (6.18)$$

Ширина укрепления  $B_{\text{укр}}$  может быть равна ширине спланированного выходного участка  $B$ , при этом для труб  $B_{\text{укр}} = (5...7) d(b)$ .

Длина участка укрепления перед трубой будет равна:

$$l_{\text{укр}}^{\text{входн}} = 0,4 \cdot l_{\text{укр}}, \text{ м.} \quad (6.17)$$

Тип укрепления назначается по [5, прил. 22] исходя из скорости на входе и выходе из трубы. Все рассчитанные параметры укрепления русел круглой и прямоугольной труб вносим соответственно в табл. 3П1 и 4П1.

Укрепление откосов осуществляется путем укладки одерновки, для чего необходимо подсчитать ее площадь.

Площадь одерновки определим, как сумму площадей трапеций, расположенных справа, слева и над входным оголовком, для чего необходимо определить геометрические параметры трапеции на откосе.

Длина укрепления одерновки на откосе у портала будет равна

$$l_1 = l_{\text{откр}} \cdot \frac{\sqrt{\cos^2 \beta + \sin^2 \beta \cdot \cos^2 \alpha}}{\cos \alpha}, \text{ м,} \quad (6.18)$$

где  $l_{\text{откр}}$  – длина открьлка, м;

$\alpha$  – угол наклона откоса насыпи;

$\beta$  – угол, который составляют открьлки с осью трубы.

Длина укрепления на откосе по краю одерновки будет равна

$$l_2 = l_1 + x \cdot \frac{\sqrt{\text{tg}^2 \beta \cdot \cos^2 \alpha + 1}}{\text{tg} \beta \cdot \cos \alpha}, \text{ м,} \quad (6.19)$$

где  $x$  – ширина укрепления, м.

Длина укрепления одерновки над входным оголовком будет равна

$$l_3 = (B_{\text{укр}} - 2 \cdot x - l_{\text{откр}} \cdot \sin \beta) \cdot \cos(90 - \gamma), \text{ м,} \quad (6.20)$$

где  $B_{\text{укр}}$  – ширина участка укрепления перед трубой, м;

$\gamma$  – угол пересечения с дорогой, град. (см. табл. 4.1).

Площадь одерновки справа и слева портала вычисляется как площадь трапеции по формуле

$$S_1 = S_3 = \frac{x \cdot (l_1 + l_2)}{2 \cdot \sqrt{\text{tg}^2 \beta \cdot \cos^2 \alpha + 1}}, \text{ м}^2. \quad (6.21)$$

Площадь одерновки над входным оголовком вычисляется как площадь прямоугольника по формуле

$$S_2 = \frac{l_3 \cdot x}{\text{tg} \beta \cdot \cos \alpha}, \text{ м}^2. \quad (6.22)$$

Общая площадь одерновки будет равна

$$S = 2 \cdot S_1 + S_2, \text{ м}^2. \quad (6.23)$$

Укрепление выходного оголовка рассчитывается аналогично. Результаты расчета укрепления откосов труб заносим в табл. 6.3.

Т а б л и ц а 6.3

Ведомость укрепления откосов у труб

ПК положение сооружения	Площадь укрепления откосов, м <sup>2</sup>			
	круглой трубы		прямоугольной трубы	
	со стороны входного оголовка	со стороны выходного оголовка	со стороны входного оголовка	со стороны выходного оголовка

Существует несколько способов укрепления: монолитным бетоном, одиночным мощением и сборными бетонными плитами. Чаще всего применяют одиночное мощение при наличии местного камня или мелкие бетонные плитки.

Для укрепления используется бетон класса В20, усиленный металлической сеткой из арматуры класса А-1. Поверхность укрепления делится на карты размером примерно 2×2 м асфальтовыми планками 3×6×50 см или антисептированными досками. Асфальтовые планки удерживаются в проектом положении металлическими штырями диаметром 16–18 мм и длиной 250–300 мм. На асфальтовые планки и на сухари (бетонные бруски толщиной 60 мм) укладывают арматурную сетку с ячейками 200×200 мм из арматуры класса А-1 диаметром 6 мм. Поверх арматуры на нижние ряды асфальтовых планок устанавливают такие же верхние планки и связывают с нижними проволокой. Затем укладывают бетон и уплотняют его виброплощадками. Толщина слоя бетона при укреплении откосов в насыпи и русла входного оголовка должна быть 80 мм, выходного русла – 120 мм.

Для предотвращения сползания бетона укрепления с откосов насыпи устраивается упор из бетонных блоков размерами 400×500×1500(2000) мм, установленных по линии откоса насыпи.

Применяют два вида одиночного мощения: на слое щебня толщиной 100 мм и на цементном растворе по щебеночной подготовке. Первый вид мощения используется при небольших скоростях потока (до 5,5 м/с) на дорогах II и III категорий, на сельских дорогах. При укреплении одиночным мощением на цементном растворе ковер укрепления разбивается на карты 2×2 м с помощью асфальтовых планок или антисептированных досок толщиной 30 мм. Мощение выполняют два-

ным камнем размерами 150–250 мм. На откосах насыпи ковер укрепления располагают уступами.

При одиночном мощении по слою щебня рваный камень размером не менее 160 мм укладывают по щебеночной подготовке толщиной 100 мм.

Для предотвращения сползания камня с откосов насыпи укрепления предусматривают упор в нижней части откосов. Упор представляет собой канаву размерами 500×500 мм с внешним откосом 1:1, заполненную камнем размерами 150–200 мм.

## 6.5. Определение горизонта подпертых вод

Для определения горизонта подпертых вод необходимо знать глубину воды перед трубой и отметку русла лотка. Тогда значение можно будет вычислить по следующей формуле [4]:

$$\text{ГПВ} = H + \text{отм. русла, м}, \quad (6.24)$$

где  $H$  – высота воды перед трубой;  
отм. русла – отметка русла, м.

Результаты расчета горизонта подпертых вод у круглых и прямоугольных водопропускных труб приведены в табл. 1П1 и 2П1 соответственно.

## 7. ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ВОДОПРОПУСКНОЙ ТРУБЫ

### 7.1. Разбивочные работы

В начале строительства закрепляется в натуре и передаются строителям ось трассы и точки ее пересечения с осями труб, а также высотные реперы (по одному в каждую трубу). Продольную ось трубы закрепляют не менее чем двумя точками.

Геодезические работы, выполняемые в процессе строительства, состоят из разбивки сооружения в плане, включая главные оси и контуры котлована; высотной разбивки; нивелировки продольного профиля лотка трубы; измерения поперечных сечений трубы.

Разбивкой в плане закрепляют на месте ясно видимые знаки, по которым можно точно установить местоположение трубы и ее элементов; закрепляют обычно с помощью двух столбов, устанавливаемых по продольной оси трубы с учетом/обеспечения их сохранности на все время постройки, и кольев, забиваемых по оси насыпи и в характерных точках. В некоторых случаях на расстоянии 1,5–2 м от границ котлована устраивают обноски из горизонтально установленных досок, на которых размечают характерные точки фундамента. Доски прибивают к столбам, заглубленным в грунт. При разбивке сооружения в плане необходимо строго выдерживать положение створа, расположенного до оси насыпи, и творчески подходить к разбивке продольной оси трубы. Если будут выявлены какие-либо неблагоприятные грунтовые или другие факторы на месте расположения трубы, ее нужно сместить в ту или другую сторону. Лучшим будет смещение, при котором высота насыпи уменьшится, а труба вынесется на борт лога с более благоприятными грунтовыми условиями. Все отступления от проекта согласовываются с заказчиком и проектной организацией.

Высотная разбивка заключается в определении отметок поверхности в месте расположения трубы и глубины срезки грунта или, наоборот, его подсыпки под трубу. Земляные работы по рытью котлованов и устройству фундаментов выполняют под инструментальным контролем. С помощью нивелира проверяют соответствие фактических отметок дна котлована и верха подушки проектным. Аналогично контролируют высотное положение фундамента, а затем и трубы. Трубу нивелируют по точкам, расположенным на ее внутренней поверхности (по лотку или по верху отверстия).

Продольный профиль труб нивелируют перед их засыпкой и после отсыпки насыпи до проектных отметок. Необходимость, а также перио-

дичность и продолжительность дальнейших наблюдений устанавливают, руководствуясь нормативами. Для труб, сооружаемых на территории распространения вечномёрзлых грунтов, наблюдения, включающие нивелирование продольного профиля, осмотры всех элементов трубы и другие работы, могут потребоваться в период эксплуатации.

Высотную разбивку и нивелирование производят с привязкой к реперу, расположенному вблизи трубы. Конструкция и местоположение репера должны обеспечивать его устойчивое положение, в том числе против морозного пучения, на все время строительства. Распространены укрепляемые в грунте реперы, состоящие из металлической трубы или деревянного столба с анкером в нижней части в виде бетонного блока, металлической плиты или деревянной крестовины. Такие конструкции репера требуют большого объема ручных земляных работ. Менее трудоемки забивные и завинчиваемые в грунт реперы и реперы, устанавливаемые в предварительно пробуренные скважины.

Разбивочные работы производят при помощи мерной ленты, которую можно использовать не только для промеров расстояния но и для разбивки прямого угла между осью насыпи и трубы; теодолита, необходимого при косом (в плане) расположении трубы; нивелира для высотной разбивки. Кроме того, на месте должны быть нивелировочная рейка, три-четыре вешки, колья, топор, лопата и т. д.

При нивелировании труб высотой до 1,5 м удобно пользоваться телескопической рейкой с движком-указателем. Эта же рейка может быть использована для измерения диаметров металлических гофрированных труб.

## 7.2. Разработка котлованов и подготовка оснований

Котлованы под фундаменты водопропускных труб разрабатывают в большинстве случаев без крепления (ограждения). Только в водонасыщенных грунтах при значительном притоке воды и невозможности обеспечить устойчивость стенок котлована грунт разрабатывают под защитой крепления. Применяют также крепления котлованов при постройке труб в непосредственной близости от эксплуатируемых сооружений, обеспечивая тем самым их устойчивость.

Очертание котлованов и технология их разработки зависят от конструкции трубы и ее фундамента, от вида и состояния грунтов основания. Крутизну откосов котлованов назначают с учетом глубины котлована и характеристик разрабатываемого грунта.

Основной тип ограждения котлована – шпунтовое. Возможно также применение закладного крепления или бездонных ящичков. Шпун-

товое ограждение размещают так, чтобы расстояние между боковой поверхностью фундамента и шпунтами составляло не менее 0,7 м. Конструкция шпунта, материал (брусчатый, дощатый), глубина забивки и другие параметры определяются при рабочем проектировании. Кроме собственно шпунта, ограждение включает также систему распорок. Внутренние распорки применяют при монолитных или мелкоблочных фундаментах.

При фундаментах из крупных блоков распорки заменяют проволочными оттяжками, заанкериваемыми на расстоянии не менее 4 м от котлована, для обеспечения свободного монтажа крупноблочных конструкций.

Во всех случаях при рытье котлованов принимают меры по предотвращению заполнения их поверхностными или грунтовыми водами. Для этого по контуру котлована отсыпают грунтовые валики. Сооружая трубу на постоянном водотоке, устраивают запруды или отводят русло в сторону с помощью канав. Проникшую в котлован воду удаляют либо устраивают в его низовой части выпуск в водоотводную канаву, что обычно оказывается возможным при постройке косогорных труб, либо обеспечивают механизированный водоотлив. Для водоотлива в низовой части котлована делают ограждаемый приямок, из которого насосом откачивают воду. Приямки располагают за пределами контура фундамента, обеспечивая удаление воды во время фундаментных работ вплоть до засыпки пазух. По мере углубления котлована ограждение приямка обычно в виде металлического бездонного ящика опускают. Нескальные грунты разрабатывают землеройными машинами без нарушения естественного сложения грунта в основании с-недобором на 0,1–0,2 м. Окончательно подчищают котлован непосредственно перед устройством фундамента.

Подготавливают основания под фундаменты труб в зависимости от вида грунта. При мокрых глинистых и слабых песчаных грунтах в основание втрамбовывают щебень слоем не менее 10 см. Укладывая фундамент на подушку из крупнообломочного грунта, последний послойно уплотняют и придают подушке нужное очертание.

В настоящее время из многообразной землеройной техники при строительстве водопропускных труб на железных и автомобильных дорогах наибольшее распространение получили бульдозеры и экскаваторы. Разработка котлованов бульдозером наиболее целесообразна при заложении фундамента тела трубы и оголовков на одной отметке или при небольшой их разнице. Это – котлованы под фундаменты труб вне зоны сколь-нибудь значительного промерзания грунта, котлованы, в которых устраивают подушки из крупнообломочного грунта, и

котлованы под подушки бесфундаментных труб, например, металлических гофрированных. Грунт удаляют обычно в низовую сторону, не допуская образования земляных валов, способных затруднить водоотвод из котлована.

Для неограждаемых котлованов применяют экскаваторы, оборудованные обратной лопатой, или драглайны. Достоинством этих механизмов является возможность разработки грунта при разной глубине котлована, что обеспечивает устройство котлована под средней частью трубы и оголовками, подошва фундаментов которых закладывается на большей глубине. Для разработки ограждаемых котлованов целесообразно применять грейферы. Во всех случаях разрабатываемый грунт укладывают за пределами котлована на расстоянии, обеспечивающем устойчивость его стенок или ограждения. Отвалы грунта не должны создавать затруднений для выполнения последующих строительных и монтажных работ, а также для пропуска воды.

При выборе экскаватора нужно иметь в виду, что жесткая подвеска рабочего оборудования обеспечивает более рациональную технологию разработки грунта, точность выполнения земляных работ, а также их производство в стесненных условиях. Применение экскаваторов-планировщиков, экскаваторов с гидроприводом, экскаваторов обычного типа с прямой режущей кромкой или специальных насадок на ковши с зубьями позволяет сократить недоборы грунта.

Важное правило производства работ – разработка котлована в кратчайшие сроки, без перерывов и непосредственно перед устройством фундамента, с засыпкой пазух котлована. Все это позволяет избежать заполнения котлована дождевыми водами, уменьшить работы по водоотливу, не допустить ухудшения прочностных и деформативных характеристик грунта основания и, следовательно, обеспечить высокое качество сооружения, его эксплуатационную надежность.

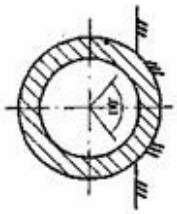
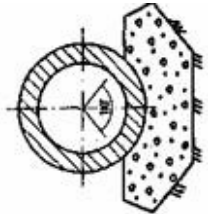
Грунт для песчано-гравийной подушки, укладываемый в котлован, необходимо разравнивать горизонтальными слоями толщиной не менее 15 см и тщательно уплотнять механическими трамбовками. По оси трубы с круглыми звеньями при помощи специальных трамбовок с криволинейной контактной поверхностью устраивают спрофилированный лоток по дуге окружности, соответствующей величине наружного диаметра звена.

Продольный профиль лотка песчано-гравийной (песчано-щебеночной) подушки должен иметь форму дуги окружности, вписанной в кривую строительного подъема. Плиты прямоугольных труб укладывают на щебеночную (гравийную) подушку толщиной не менее 30 см с тщательным выравниванием ее (втрамбовыванием в грунт основания котлована).

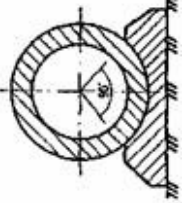
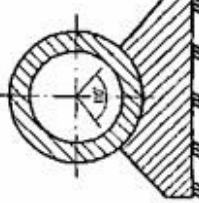


Таблица 7.1

Типы оснований и фундаментов труб

Условия применения						
	Схема	Тип основания	по инженерно-геологическим условиям	толщина стенки, см	отверстие трубы, м	высота насыпи, м
1	2	3	4	5	6	7
Бесфундаментный		Спрофилированное по очертанию трубы земляное ложе	На крупнообломочных и плотных песчаных (кроме пылеватых) грунтах, а также твердых и полутвердых глинистых грунтах	8	0,5	0,90
			с условным сопротивлением более 2,5 кг/см <sup>2</sup> с расположением уровня грунтовых вод не менее чем на 0,30 м ниже гравийно-песчаного основания	8 8 12 18	0,75 1,0 1,25	1,35 4,0 7,0
		Грунтовое основание	НА СКАЛЬНЫХ ГРУНТАХ	8	0,5	0,90
			На крупнообломочных и плотных песчаных (кроме пылеватых – ррра.гч) грунтах, а также твердых и полутвердых глинистых грунтах с условным сопротивлением не менее 2,5 кг/см <sup>2</sup>	8 12	0,75 1,0	1,35 7,0
		Гравийно-песчаная подготовка	с расположением уровня грунтовых вод не менее, чем на 0,30 м ниже гравийно-песчаного фундамента	14	1,25	7,0
				16	1,5	8,0

Окончание табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7
Фундаментный		Тип 1  Лекальный блок	НА СКАЛЬНЫХ ГРУНТАХ  На песчаных и глинистых грунтах всех наименований с расчетным сопротивлением не менее расчетного давления под подошвой фундамента грубы	12 18	1,0 1,25	6,0 17,0
		Тип 2  Монолитный бетон	НА СКАЛЬНЫХ ГРУНТАХ  На песчаных и глинистых грунтах всех наименований с расчетным сопротивлением не менее расчетного давления под подошвой фундамента грубы	12 18  12 18 22 24	1,0 1,25  1,0 1,25 1,50 2,0	7,0 17,0  7,0 20,0 20,0 20,0

При монтаже фундаментов из сборных элементов в первую очередь укладывают блоки фундаментов оголовков до уровня подошвы фундамента тела трубы. Затем до того же уровня заполняют пазухи фундаментов оголовков. С трех сторон их засыпают местным грунтом, а в местах сопряжения фундаментов разной глубины заложения – песчано-гравийной или песчано-щебеночной смесью, которую послойно уплотняют и заливают цементным раствором. Затем кладку фундаментов оголовков ведут одновременно с посекционным монтажом фундамента тела трубы. Порядок монтажа принимают последовательным, от выходного оголовка к входному. Многорядную кладку выполняют с перевязкой швов.

Процесс устройства монолитных фундаментов включает изготовление и установку опалубки, доставку готовой бетонной смеси или ее приготовление на месте, укладку смеси, уход за бетоном, удаление опалубки, засыпку пазух. Достаточно простые очертания фундаментов позволяют изготавливать опалубку из инвентарных щитов, используемых на ряде объектов. При устройстве сборно-монолитных фундаментов на подготовленное основание или подушку устанавливают опалубку в швах между секциями. Пространство между сборными элементами и опалубкой в швах заполняют бетонной смесью. Устройство свайных фундаментов распространено в районах со слабыми грунтами.

### 7.3. Монтаж и засыпка труб

К монтажу сборных оголовков и тела трубы приступают после окончания работ нулевого цикла, т. е. после устройства фундаментов и засыпки пазух. Исключение составляют конструкции оголовков, представляющие собой единое целое с фундаментом или объединяемые со сборно-монолитным фундаментом до его омоноличивания.

Сборные трубы монтируют с помощью самоходных кранов, грузоподъемность которых определяют, исходя из массы блоков тела трубы, оголовков и фундамента с учетом возможного вылета стрелы крана. Масса сборных элементов по наиболее распространенным типовым конструкциям железобетонных труб находится в пределах от 0,3 до 10,7 т, для бетонных труб – от 0,7 до 12,5 т.

Порядок монтажа определяют в зависимости от конструкции оголовочной части трубы и местных условий. При этом иногда, в первую очередь, устанавливают блоки выходного оголовка, а затем посекционно продвигаются к входному оголовку, установкой блоков

которого завершают монтажные работы. Иногда крылья оголовков монтируют после окончания монтажа средней части трубы.

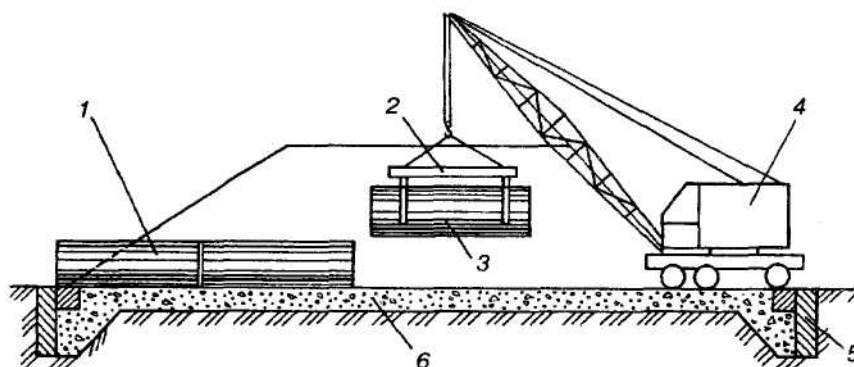


Рис. 7.1. Монтаж круглой одноочковой трубы из длиномерных звеньев:  
1 – смонтированная часть труб; 2 – траверса; 3 – монтируемое звено;  
4 – кран; 5 – экран; 6 – грунтовая подушка

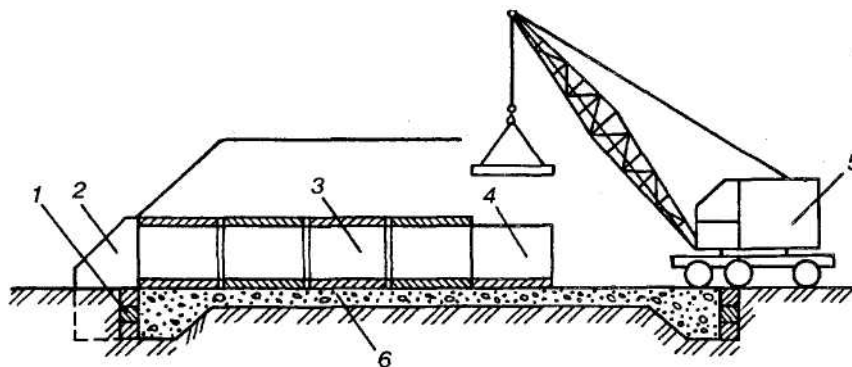


Рис. 7.2. Монтаж прямоугольной трубы из плитных элементов:  
1 – экран; 2 – оголовок; 3 – смонтированная часть трубы;  
4 – монтируемый блок; 5 – кран; 6 – грунтовая подушка

Перед началом монтажа звенья, блоки оголовков и фундамента очищают от грязи, а в зимнее время от снега и льда. Звенья и блоки с плоской поверхностью нижней грани устанавливают на цементном растворе подвижностью 6–8 см по конусу. Цилиндрические звенья на плоскую поверхность фундамента устанавливают на деревянных подкладках, соблюдая требуемый зазор между звеном и фундаментом. Затем под звено подбивают бетонную смесь, обеспечивая полный контакт звена на всей его длине. Те же звенья на лекальные блоки устанавливают на неудаляемые клинья, выдерживая наименьшую величину зазора, равную 2 см. Раствор подливают с одной стороны, контролируя его появление с другой. Затем восполняют недостающее количество раствора с противоположной стороны звена, обеспечивая при этом плотное заполнение и выравнивание шва. Раствор используют подвижностью 11–13 см.

Заполнением вертикальных и горизонтальных швов обеспечивают сплошность и монолитность конструкции трубы на участках между деформационными швами. В пределах каждой секции вертикальные швы между блоками обычно заполняют цементным раствором подвижностью 11–13 см, принимая меры по предотвращению его вытекания из шва (например, конопаткой); полезно применение здесь полимерцементных растворов. Раствор в швах уплотняют с помощью шуровок, а для заливки применяют конусные воронки. Швы в стыках звеньев или секций труб разрешается конопатить с обеих сторон пропитанной битумом паклей. С внутренней стороны швы должны быть на глубину 3 см заделаны цементным раствором.

При монтаже следят за соблюдением проектных зазоров между блоками и звеньями в пределах каждой секции с тем, чтобы выдерживать размеры секций и не допускать перекрытия деформационных швов. Элементы устанавливают с плотным опиранием по всей поверхности, не допуская пустот в заполнении швов и сдвижки элементов после схватывания раствора.

Особенности зимних работ по монтажу тела труб и оголовков и способы их учета такие же, как для фундаментов. Тепляки для зимнего производства работ по монтажу сборных конструкций труб, а также их гидроизоляции применяют только на основе технико-экономического обоснования и прежде всего для труб с монолитными или сборно-монолитными фундаментами и при низких отрицательных температурах. Расшивку швов тела трубы обычно относят на теплое время года.

#### 7.4. Устройство гидроизоляции труб

Основным типом изоляции бетонных и железобетонных труб в настоящее время служит битумная, в которой битум используется для приготовления битумного лака (материала для грунтовки) и различных мастик, представляющих собой основное гидроизоляционное покрытие.

Покрытия устраивают неармированными (обмазочными) и армированными (оклеечными). Для труб неармированная гидроизоляция состоит из двух слоев битумной мастики толщиной 1,5–3 мм каждый по слою грунтовки, армированная – из слоев армирующего материала между тремя слоями битумной мастики также по слою грунтовки.

Поверхности железобетонных элементов труб – звеньев, плит перекрытия, насадок и других, соприкасающиеся с грунтом, как правило, защищают армированной гидроизоляцией. Исключение состав-

ляют оголовки и элементы сборных или сборно-монолитных фундаментов, а при определенных условиях также круглые звенья одноочковых труб и боковые поверхности прямоугольных звеньев. Их, как и бетонные элементы труб (стены прямоугольных бетонных труб, фундаменты и др.), защищают неармированной изоляцией. Марку битума выбирают в зависимости от климатических и других условий района строительства. Битумный лак приготавливают, растворяя расплавленный битум в бензине, нигроле, керосине и других растворителях в пропорции 1:3–1:2 по массе. Битумные мастики включают, кроме битума, машинное масло марки Л или СУ и асбест.

Последовательность работ по устройству гидроизоляции на битумной основе следующая: подготовка поверхности; устройство (нанесение или наклейка) гидроизоляции; устройство защитного слоя.

При подготовке поверхности конструкции очищают от грязи, просушивают, а в необходимых случаях и выравнивают ее цементным раствором. Нанесение подготовительного слоя из цементного раствора требуется в местах образования внутренних углов, например, на перекрытии трубы перед кордонным камнем, для устройства сливов в многоочковых трубах и в других случаях. При подготовке поверхности не допускают переломы армированной гидроизоляции, для чего наружные углы конструкции закругляют по радиусу 10–15 см.

Гидроизоляцию устраивают при температуре воздуха не ниже +5 °С. При более низких температурах эти работы выполняют в тепляках, а при соблюдении определенных условий и без тепляков.

Первая технологическая операция устройства собственно гидроизоляции – нанесение на изолируемую поверхность битумного лака. Лак наносят в качестве грунтовки с целью заполнения мелких трещин и пор, а также для улучшения сцепления основного компонента гидроизоляции – битумной мастики – с бетонной поверхностью. Рекомендуется наносить битумный лак напылением, используя установки, состоящие из емкости и распыляющей пневмофорсунки. Существует и немеханизированный способ устройства грунтовки с помощью кистей.

Неармированную гидроизоляцию устраивают после высыхания грунтовки, но не ранее чем через 24 ч после ее нанесения. Горячую мастику наносят слоями толщиной 1,5–3 мм, второй слой – после остывания первого. Для нанесения мастики применяют ручной инструмент – шпатели и др. Повышение качества работ и снижение трудозатрат достигают, используя механизированный способ, преимущественно пневмораспыление.

Армированную гидроизоляцию устраивают в такой последовательности. Вначале наносят на загрунтованную поверхность первый слой

горячей битумной мастики и наклеивают первый слой армирующего рулонного материала; повторяют эти операции для следующего слоя. Затем последний слой армирующего материала покрывают отделочным слоем мастики толщиной 1,5–3 мм, выравнивая его после остывания ручным электрокатком и дополняя мастикой места, где ее оказалось недостаточно. Отдельные полотнища армирующего материала стыкуют внахлестку с перекрытием стыков на 10 см. Стыки первого и второго слоев не должны располагаться друг над другом. Стыки каждого следующего слоя сдвигают не менее чем на 30 см относительно стыков ранее уложенного слоя. Рулонные материалы наклеивают, не допуская образования пузырей и добиваясь плотного прилегания материала по всей поверхности. Для разглаживания изоляции применяют электроутюги, электрокатки.

На участках труб, где гидроизоляция неармированная, швы между звеньями и секциями защищают армированной изоляцией в виде полос шириной 25 см, наклеиваемых на битумной мастике симметрично оси шва. Предварительно шов заполняют паклей, пропитанной битумом. Паклю забивают с помощью пневмоконопатки или вручную.

Защитный слой устраивают для предотвращения механических повреждений гидроизоляции во время засыпки трубы и в последующий период, с учетом того, что сохранность гидроизоляции в процессе многолетней эксплуатации – один из важнейших факторов нормальной работы трубы.

На горизонтальных и наклонных поверхностях защитный слой выполняют из цементно-песчаного раствора состава 1:3. Толщину слоя принимают не менее 30 мм.

При наружных температурах, не ниже минус 20° С, гидроизоляцию возможно устраивать на открытом воздухе. Последовательность зимних работ такая же, как и летних. Основное условие качественного выполнения изоляционных работ – нанесение изоляции на сухую поверхность. Нельзя выполнять работы при снегопаде, даже сильном ветре. Перед нанесением битумного лака влажные участки изолируемой поверхности должны быть высушены. Для сушки применяют горячий воздух от электровоздуховок, паяльные лампы, не дающие копоти, и другие приборы. Можно для этой цели также применять внутренний обогрев труб. Основные материалы для изоляции употребляют в разогретом состоянии. Мاستику разогревают до 180–190 °С. При приготовлении битумного лака температура битума во избежание вспышки растворителя не должна превышать 100 °С. Целесообразно применять изоляционные материалы заводского изготовления, организуя на месте только их подогрев. Защитный слой в зимних условиях

можно устраивать из сборных железобетонных плиток, укладываемых на битумной мастике. Эти работы выполняют после отвердения верхнего отделочного слоя изоляции.

Работы по устройству гидроизоляции требуют тщательного выполнения особых противопожарных мероприятий и мер по технике безопасности. Законченные работы должны быть освидетельствованы с составлением акта.

Трудоемкость устройства гидроизоляции железобетонных и бетонных труб на строительной площадке и зависимость этого вида работ от погодных условий обусловили необходимость исследования заводской технологии устройства гидроизоляции из битумно-стеклопластиковых листов и других материалов. В опытным порядке освоена технология изготовления битумно-стеклопластиковых листов с анкерующими ребрами.

## 7.5. Засыпка труб грунтом

Исследования взаимодействия стальных гофрированных труб с грунтом насыпи свидетельствуют, что несущая способность гибких конструкций в большей степени зависит от сжимаемости окружающей их грунтовой среды нежели от геометрических и прочностных характеристик самой конструкции.

Тщательно выполненная засыпка во много раз увеличивает способность гибкой трубы сопротивляться действующим на нее нагрузкам и в связи с этим вопросы выбора материала засыпки, степени и способов его уплотнения, а также контроль качества земляных работ играют исключительную роль в обеспечении эксплуатационной надежности сооружений такого типа.

Под засыпкой труб, к которой предъявляются особые требования в части качества используемого грунта и способов его укладки и уплотнения, понимают земляные работы вокруг сооружения в некотором ограниченном объеме, обусловленном характером взаимодействия конструкции с окружающим грунтом, а также соображениями технологического порядка.

Интенсивность радиальных напряжений, действующих в боковых призмах грунта на уровне горизонтального диаметра трубы, резко убывает по мере отдаления от стенки трубы в глубь массива и на расстоянии свыше двух диаметров не превышает 4 % от величины контактных напряжений. В этих условиях поперечные деформации трубы зависят главным образом от сжимаемости грунта засыпки в непосредственной близости от конструкции, в зоне одного-двух диаметров с



каждой ее стороны. Следовательно, в этой зоне грунт засыпки должен быть уложен и уплотнен с особой тщательностью. Выполняя роль не просто среды, в которой находится гибкая труба, но и конструктивного элемента, определяющего несущую способность сооружения, грунтовая призма засыпки должна оставаться прочной и устойчивой, несмотря на возможные изменения микроклиматических и гидрологических условий.

Отечественный и зарубежный опыт строительства гофрированных труб свидетельствует, что наибольшая надежность грунтовой призмы и сооружения в целом обеспечивается применением дренирующих грунтов. В соответствии с принятой в нашей стране классификацией грунтов Указаниями по Проектированию земляного полотна железных и автомобильных дорог, а также действующими нормативными документами на стальные гофрированные трубы для засыпки труб во всех строительско-климатических зонах и без каких-либо ограничений применяют грунты: щебенисто-галечниковые и дресвяно-гравийные с крупностью частиц не более 50 мм, пески гравелистые, крупные и средней крупности, а также пески мелкие с содержанием частиц размером менее 0,1 мм не более 10 %, в том числе глинистых частиц, т. е. размером менее 0,005 мм не свыше 2 % по массе. Глинистые грунты и мелкий песок, не удовлетворяющий этим условиям, тоже используют в качестве материала засыпки труб на автомобильных дорогах, если в районе строительства не наблюдается интенсивное пучинообразование. Из глинистых грунтов пригодны к засыпке: супесь легкая крупная и легкая с содержанием песчаных частиц размером 2 – 0,05 мм более 50 % от массы сухого грунта, суглинок не-пылеватый (песчаных частиц более 40 %), глина песчанистая (песчаных частиц более 40 %).

Засыпку трубы производят, как правило, с опережением возведения земляного полотна, вслед за монтажом металлоконструкций, нанесением антикоррозионного покрытия и установкой трубы в грунтовое ложе – основание. В отдельных случаях при соответствующем технико-экономическом обосновании трубы возводят в прогалах насыпи.

Производство работ по засыпке гибкой трубы включает следующие основные, технологические операции. Грунт, разрабатываемый в карьере или резерве, транспортируют к трубе автомобилями-самосвалами или скреперами и отсыпают равномерно с обеих сторон конструкции по всей ее длине. Бульдозером грунт разравнивают, а затем специальными машинами послойно уплотняют сначала с одной, затем с другой стороны, начиная от краев призмы и заканчивая уплотнение каждого слоя непосредственно возле трубы. При этом слои укладывают или горизонтально, или наклонно в стороны от трубы, но не круче 1:5.

Толщину уплотняемого слоя принимают от 0,4 до 0,5 м в плотном теле. При уплотнении грунта в уровнях, не превышающих трубу, машина перемещается вдоль сооружения, при уплотнении над трубой – может двигаться и вдоль, и поперек. Обычно для достижения требуемой плотности грунта, оставляемого под следом рабочего органа машины, достаточно одного ее прохода со скоростью 300–500 м/ч в среднем режиме работы виброустройства. С каждым очередным проходом машины рабочий орган смещают ближе к трубе и новым следом перекрывают на 10–15 см предыдущий след. Уплотняя ближайшую к трубе полосу грунта, рабочий орган машины располагают у стенки конструкции на расстоянии не менее 5 см от нее и при этом наблюдают за тем, чтобы не нанести механического повреждения самой трубе или ее покрытию. Работа виброударной машины непосредственно над трубой считается безопасной для конструкции при высоте засыпки не менее 1 м (в плотном теле) над ее верхом при диаметре трубы до 3 м.

Использование трамбовочных машин виброударного действия обеспечивает высокое качество уплотнения грунтового ядра вокруг трубы и в том числе в области непосредственного контакта ее с грунтом, что особенно важно, так как радиальные напряжения наиболее велики именно в этой зоне. Последнее обстоятельство освобождает строителей от весьма трудоемкой работы по уплотнению грунта в контактной зоне ручным инструментом, к которому приходится прибегать при использовании других грунтоуплотняющих средств. Исключение составляют многоочковые трубы, где может оказаться необходимый ручной инструмент для уплотнения грунта в нижних частях междуочковых пазух. Работа виброударных машин особенно эффективна при уплотнении грунта, уложенного наклонными слоями.

Для уплотнения глинистых грунтов засыпки используют также пневмокатки, или другие катки массой порядка 30 т. При толщине слоев около 0,2 м требуемая степень уплотнения обычно достигается за три-четыре прохода колеса катка по одному следу. При работе пневмокатка в непосредственной близости от трубы безопасным считают приближение скатов катка к стенке конструкции до 30 см, а в условиях особо тщательного контроля уплотнения это расстояние может быть уменьшено до 10–5 см. Работу катка над трубой допускают при толщине слоя грунта над верхом конструкции не менее 0,8 м в плотном теле при диаметре сооружения до 3 м.

Однако и катки, и автомобили-самосвалы оставляют неуплотненным грунт в зоне его непосредственного контакта с трубой, а также в пазухах под нижними четвертями трубы. Эти зоны, а также пазухи многоочковых труб образуют фронт ручных работ. Здесь грунт уплот-

няют ручным механизированным инструментом, например, электро-трамбовками. Толщину слоя (обычно принимают не более 15 см), количество проходов трамбовки по одному следу и скорость ее перемещения уточняют по результатам пробного уплотнения в начале производства работ. Кроме электротрамбовок, для уплотнения грунта во впадинах гофрированной поверхности трубы применяют ручные штыковки диаметром 6–8 см.

Во избежание чрезмерного сплющивания конструкции (с образованием вертикально вытянутой эллиптичности) при уплотнении боковых призм грунта производят оперативный контроль поперечных деформаций трубы и следят за тем, чтобы уменьшение горизонтального диаметра не выходило за пределы 3 % номинального диаметра. Такая деформация не представляет опасности развития в стенках трубы значительных пластических деформаций изгиба и даже создает некоторый резерв несущей способности конструкции. Если же возникает опасность большей деформации, то внутри трубы на уровне горизонтального диаметра устанавливают временные горизонтальные распорки, которые извлекают после засыпки трубы.

Степень уплотнения грунта в пределах призмы засыпки оценивают коэффициентом  $K$ , который представляет собой отношение достигнутой плотности к максимальной стандартной, определяемой по методу стандартного уплотнения. Последнюю приводят в проекте производства работ на основании данных инженерно-геологических изысканий. В соответствии с требованиями действующей инструкции коэффициент уплотнения обеспечивают не ниже 0,95.

При использовании крупнообломочных грунтов в качестве материала засыпки, а также при производстве работ в зимнее время для контроля плотности применяют метод лунок. Пробы отбирают в нескольких уровнях по высоте трубы обычно на высотах 0,25; 0,5 и 0,75  $D$  от низа лотка с обеих сторон на расстояниях 0,1 и  $i$  м от боковых стенок в средней по длине трубы части.

Необходимо отметить, что в процессе засыпки трубы нельзя допускать отклонений от  $K=0,95$  в меньшую сторону, так как снижение плотности грунта существенно уменьшает его модуль деформации, а следовательно, и несущую способность трубы.

Модуль деформации определяют методом компрессионных испытаний образцов грунта, уплотняя его до 95 % максимальной стандартной плотности, и в качестве расчетной характеристики при проектировании трубы используют величину, полученную для интервала нагрузок 0,5–1 кгс/см<sup>2</sup>.

Стабильность железобетонных труб также зависит от хорошо выполненной засыпки. Способы укладки и уплотнения грунтовой засыпки железобетонных труб во многом схожи с описанными применительно к металлическим гофрированным трубам.

Трубу нужно строить, как правило, с опережением отсыпки земляного полотна и защищать ее от возможного повреждения во время осадков обсыпкой грунтом на высоту 0,5 м над ее верхом. При постройке труб одновременно с возведением земляного полотна или после его окончания в насыпи оставляют прогал. Постройка труб в прогалах насыпи должна быть обоснована технико-экономическим расчетом в проекте организации работ. Ширина прогала понизу должна обеспечивать расстояние от стенки трубы до подошвы насыпи не менее 4 м.

Железобетонные водопропускные трубы засыпают грунтом после выполнения всех работ по их сооружению и оформления соответствующего акта приемки.

Для засыпки труб пригоден тот же грунт, из которого возведена насыпь. При возведении насыпи из скального грунта или других грунтов с включением крупных камней трубу предварительно засыпают песчаным или глинистым грунтом на высоту не менее 1,0 м над ее верхом во избежание механических повреждений конструкции. Ширина засыпки поверху должна превышать диаметр трубы на 1 м.

Возведение насыпей над железобетонными трубами состоит из двух стадий: заполнение грунтом пазух между стенками котлована и фундамента; засыпка трубы на высоту звена.

Пазухи между стенками котлована и фундамента заполняют грунтом сразу же после приемки кладки фундамента, чтобы по возможности избежать затопления дождевыми или грунтовыми водами. Устройство грунтовой призмы у трубы включает следующие виды работ: транспортирование грунта из карьера или резерва к трубе автомобилями-самосвалами или скреперами; отсыпка грунта у трубы; разравнивание грунта бульдозером; послойное уплотнение грунтоуплотняющими машинами. Плотность грунтовой призмы должна быть не менее 0,95 максимальной стандартной плотности.

Грунт укладывают одновременно с обеих сторон трубы на одинаковую высоту и уплотняют послойно специальной грунтоуплотняющей машиной виброударного действия для работы в стесненных условиях, а при ее отсутствии – пневмокатками. Грунтовую призму отсыпают наклонными от трубы слоями (с уклоном не круче 1:5), толщину которых назначают в соответствии с действующими нормативами.

Движение грунтоуплотняющих машин по каждому слою грунта вдоль трубы следует начинать с удаленных от нее участков и с каждым

последующим проходом приближаться к стенкам трубы. Уплотнение грунта непосредственно у трубы допускается, если с противоположной стороны уже отсыпан слой грунта на таком же уровне по всей длине трубы. Особое внимание нужно уделять уплотнению грунта у стенок трубы. При этом ручную электротрамбовку надо располагать на расстоянии не менее 5 см от стенки. Над средней частью трубы (над звеньями) не допускается переуплотнение грунта во избежание перегрузки конструкции.

При значительной высоте насыпи (более 10 м) над трубой целесообразно оставлять зону пониженной (менее 0,95 от максимальной) плотности, разравнивая грунт этой зоны бульдозером без уплотнения.

Если в процессе строительства машины, которые передвигаются над засыпанной конструкцией или близко от нее, тяжелее, чем временные нагрузки, для которых была запроектирована труба, необходимо предусматривать дополнительную засыпку во избежание разрушения трубы. Правила проезда транспортных средств и грунтоуплотняющих машин над трубой регламентированы техническими указаниями.

Контроль плотности грунта засыпки железобетонных труб нужно обеспечивать аналогично такому контролю засыпки металлических.

## 7.6. Укрепительные и отделочные работы

Откосы насыпей у оголовков для предотвращения их размыва укрепляют специальными конструкциями, предусмотренными в проекте. Для круглых и прямоугольных труб применяются три типа укрепления: одиночное или двойное мощение; сборные бетонные плиты; монолитный бетон. Замена одних укрепительных конструкций другими может быть произведена только по согласованию с проектной организацией.

Укрепительные работы, как правило, рекомендуется производить при положительных температурах воздуха. Вначале на грунтовое основание укладывают подстилающий слой, как правило, из щебня (толщиной до 40 мм), если в рабочих чертежах не предусмотрен другой вид подготовки. Уложенный слой после выравнивания уплотняют легкими механическими или электрическими трамбовками.

Одиночное или двойное мощение начинают с устройства упора в подошве откоса. Для этой цели используют крупные камни, которые заглубляют в естественный грунт основания. После устройства упора начинают мощение откосов горизонтальными рядами от упора снизу вверх, а затем производят мощение лотка. Укладку камней следует вести с подбором их по размерам, тщательной расщебенкой и уплотне-

нием. Для мощения заготавливают камень из слабыветрившихся твердых скальных пород. Размеры камней указывают в каждом конкретном случае в рабочих чертежах.

При укреплении откоса сборными бетонными плитами прежде всего устанавливают в проектное положение бетонные блоки упоров. Затем от упора начинают укладывать плиты по откосу насыпи, после чего приступают к укладке плит в русловой части. Монтаж плит выполняют с помощью автомобильного крана по раскладочным схемам, приведенным в рабочих чертежах (рис. 7.3,а). По мере укладки плит заполняют бетоном монтажные узлы, а также участки насыпи и русла, не покрытые плитами.

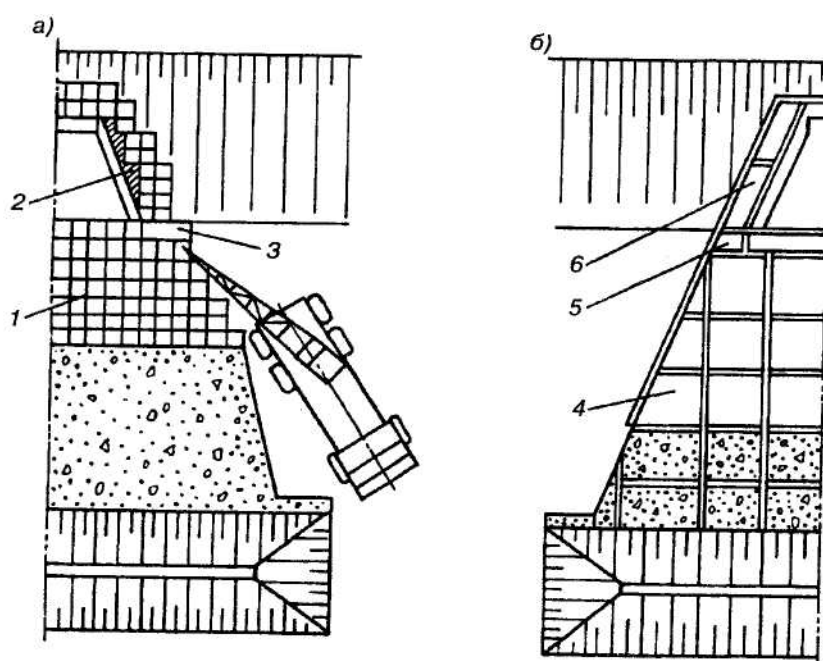


Рис. 7.3. Схема укрепления откосов насыпи у оголовков и лотков сборными (а) и монолитным (б) бетонными плитами:

- 1 – бетонные плиты; 2 – монолитный бетон; 3 – упорный блок;
- 4 – ячейка монолитного бетона (карта); 5 – упор из монолитного бетона;
- 6 – монолитный бетон откосных карт

При укреплении монолитным бетоном (см. рис. 7.3,б) поверхность укрепляемого участка с помощью досок, поставленных на ребро, разбивают на отдельные плиты (карты). Доски закрепляют металлическими штырями и покрывают горячим битумом. Вначале бетонуют упоры, затем укрепляемый участок откоса и русло. Укладку бетона по откосу насыпи ведут снизу вверх, а в русловой части – от оголовка в сторону поля. Укладывают бетон с помощью автомобильного крана и бадьи, подвешенной к его стреле. Уложенный бетон выравнивают поверхностными вибраторами.

В случаях, предусмотренных рабочими чертежами, перед входными оголовками во избежание засорения труб корягами, сеном и другими плавающими предметами необходимо устраивать ограждения, как правило, в виде железобетонных свай, если в проекте не предусмотрены другие конструкции. Откосы подводящего и отводящего русел должны быть надлежащим образом сопряжены с входным и выходным оголовками трубы и при необходимости дополнительно спланированы и зачищены. Строительный мусор, отбракованные элементы и т.п. должны быть удалены от сооружения.

## 7.7. Технологическая схема комплексной механизации

Сооружение железобетонных круглых одночковых бесфундаментных  $d = 1,0$  м и фундаментных труб  $d = 1,0$  и  $1,5$  м

Примеры составления технологической схемы представлены в табл. 7.3–7.5.

### Расчет 1

Приведем расчет производительности автомобиля-самосвала Зил-555 грузоподъемностью 4,5 т (табл. 7.2)

$$P = \frac{TKq}{\frac{2l}{v} + t},$$

где  $T = 8,2$  ч – продолжительность рабочей смены;

$K$  – коэффициент внутрисменной загрузки;

$q$  – грузоподъемность машины;

$v$  – средняя скорость движения, км/ч;

$t$  – время простоя под погрузкой и разгрузкой, ч.

Т а б л и ц а 7 . 2

## Технологическая последовательность процессов с расчетом объемов работ и потребных ресурсов

Номер процессов для труб	Источник обоснования норм выработки (ЕНиРы и расчеты)	Описание рабочих процессов в порядке их технологической последовательности с расчетом объемов работ	Единица измерения	Количество на 1 трубу	Производительность в смену	Потребность машино-смен на 1 трубу
1	3	4	5	6	7	8
1	Ориентировочно	Подготовительные работы: а) планировка строительной площадки, отвод существующего русла при необходимости. Разбивка оси трубы, контуров котлована и русла. Разбивка контура фундамента на обноске для каждого вида труб; б) доставка оборудования и элементов временных инвентарных устройств автомобилями ЗИЛ-130 на расстоянии 20 км для каждого вида труб; в) разгрузка оборудования и элементов временных инвентарных устройств и монтаж их на объекте строительства краном К-52 для каждого вида труб; г) подвозка гравийно-песчаной смеси автомобилями-самосвалами ЗИЛ-555 на расстояние 20 км; бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м;	чел.-дни	-	-	2,0
	Расчет 1		т	8	14,2	0,6(0,6)
	§1-5, № 4		«	8	204	0,1 (0,2)
	Расчет 1		м <sup>3</sup>	19,4		2,2(2,2)
			»	11,8	8,8	1,3(1,3)
			»	17,8		2,0(2,0)



Продолжение табл. 7.2

1	2	3	4	5	6	7	8
		Расчет 1	д) подвозка щебня автомобилями-самосвалами ЗИЛ-555 на расстоянии 20 км: бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м;	» » »	1,2 2,3 4,2	8,8	0,1(0,1) 0,3(0,3) 0,5(0,5)
		Расчет 1	е) подвозка железобетонных локальных блоков (для фундаментных труб), звеньев труб и блоков оголовков автомобилями ЗИЛ-130 на расстоянии 20 км: бесфундаментные $d = 1,0$ м фундаментные $d = 1,0$ м $d = 1,5$ м;	т » »	31 42 73	14,2	2,2(2,2) 3,1(3,1) 5,4(5,4)
		§1-5, № 4	ж) разгрузка железобетонных блоков автомобильным краном К-52: бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м	т » »	31 42 73	204	0,6(0,2) 0,6(0,2) 1,1 (0,4)
2	2	§2-1-9, табл. 3, № 1	Рытье котлована экскаватором Э-153 (обратная лопата) с перемещением грунта II группы в отвал: бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м	м <sup>3</sup> » »	50 61 94	71	0,7(0,7) 0,9(0,9) 1,3(1,3)
3	3	§2-1-31, табл. 2, № 1е	Зачистка на котловане вручную на глубину 0,25 м (грунт II группы) с выброской грунта на бровку: бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м	м <sup>3</sup> » »	8 9 12,5	5,5	1,2 1,4 1,9

Продолжение табл. 7.2

1	2	3	4	5	6	7	8
4	4	§2-1-15, табл. 1, № 1, б, д	Перемещение разработанного грунта из отвала на бровке котлована на расстояние до 30 м бульдозером на тракторе «Беларусь»: бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м	« « «	58 70 107	160	0,4(0,4) 0,5(0,5) 0,6(0,6)
5	5	§4-4-88, № 4а	Устройство щебеночной подготовки слоем 10 см под тело трубы для фундамента и при подаче щебня автомобилем самосвалом вручную и уплотнением пневмотрамбовками ТР-4 или ТР-6: бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м	м <sup>2</sup> » »	12 21,6 28,8	56	0,2 0,4 0,5
6	6	§2-1-44, табл. 1, № 4в, § 2-1-45, табл. 3, № 26	Устройство гравийно-песчаной подушки под порталные стенки и лотки оголовков с трамбованием пневмотрамбовками ТР-4 или ТР-6: бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м	м <sup>3</sup> » »	19,4 11,8 17,8	160	0,1 0,6 0,9
-	7	§4-4-91, табл. 2, № 16, № 26	Монтаж железобетонных локальных блоков фундамента тела трубы краном К-52: фундаментная $d = 1,0$ м $d = 1,5$ м	шт. «	8 8	22 16	1,2(0,3) 2,0(0,5)

Продолжение табл. 7.2

1	2	3	4	5	6	7	8
7	8	§ 4-4-93 № 1	Монтаж железобетонных блоков оголовков краном К-52: а) порталных стенок и конических звеньев: бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м; б) откосных крыльев: бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м	» » » » » » »	4 4 4 4 4 4 4	16	1,3(0,3) 1,3(0,3) 1,3(0,3)
8	9	§ 4-4-94 № 4 № 4 № 5	Монтаж звеньев труб краном К-52: бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м	» » »	11 11 11	17 17 12	3,2(0,6) 3,2(0,6) 4,8(0,9)
9	10	§ 4-4-99, № 1, 2, 3	Заделка и гидроизоляция швов в стыках звеньев конопаткой паклей с устройством изоляции с наружной стороны и заделкой швов цементным раствором с внутренней стороны: бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м	м шва » »	54 54 22	21	2,6 2,6 3,4
10	11	§ 4-4-97, № 2, 4, 7	Заделка швов между блоками оголовков конопаткой паклей с заполнением швов раствором и расшивкой их: бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м	» » »	15 15 30	25	0,6 0,6 1,2

Продолжение табл. 7.2

1	2	3	4	5	6	7	8
11	12	§4-4-101, № 2	Устройство гидроизоляции тела трубы: а) обмазочная гидроизоляция битумной мастикой: бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м	$m^2$ « «	81 81 122	27	3,0 3,0 4,5
12	13	§2-1-44	Заполнение котлована -местными однородными грунтами (грунт II группы) вручную с трамбованием пневмотрамбовками ТР-4 или ТР-6 слоями по 0,2 м: бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м	$m^2$ » »	30 37 54	12	2,5 3,1 4,5
13	14	Расчет	Подвозка бетонной смеси на расстояние 20 км автомобилями-самосвалами ЗИЛ-555 для устройства лотков оголовков: бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м	$m^3$ » »	1,4 1,4 3,2	7,1	0,2(0,2) 0,2(0,2)
14	15		Устройство лотков оголовков из монолитного бетона М-150: бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м	$m^2$ » »	11 11 27	55	0,2 0,2 0,5

Продолжение табл. 7.2

1	2	3	4	5	6	7	8
15	16	Расчет	Подвозка автомобилями-самосвалами ЗИЛ-555 на расстояние 20 км каменных материалов для мощения русла: а) камня: бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м; б) щебня: бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м	$m^3$ » »	28 29 45	8,8	3,2(3,2) 3,2(3,2) 5,1(5,1)
16	17	§2-1-15, табл. 1, № 16,	Засыпка трубы до проектной отметки местным грунтом: а) разработка и перемещение на расстояние до 30 м грунта бульдозером на тракторе «Беларусь»: бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м; б) засыпка тела трубы грунтом вручную с трамбованием пневмотрамбовками ТР-4 или ТР-6 слоем 0,15 м(объем ручных земляных работ принят в раз- мере 25 % от объема бульдозерных): бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м	» » $m^3$ » » »	300 300 470	160	1,9(1,9) 1,9(1,9) 3,0(3,0)
		§2-1-44, табл. 1, № 46		» » »	75 75 120	12	6,3 6,3 10,0

Окончание табл. 7.2

1	2	3	4	5	6	7	8
17	18	§2-1-31	Укрепление откосов и русел каменным мощением на щебне: а) ручные земляные работы для подготовки площади мощения бесфундаментная $d = 1,0$ м фундаментная $d = 1,0$ м $d = 1,5$ м б) устройство щебеночной подготовки: бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м; в) одиночное мощение: бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м; г) двойное мощение бесфундаментная $d = 1,0$ м, фундаментная $d = 1,0$ м, $d = 1,5$ м	» » » м <sup>2</sup>  » »  » » » » » » » » »	36 36 57 76  76 117  35 35 53  41 41 64	6,5     157  17  8,5	5,5 5,5 8,8 0,5  0,5 0,7  2,1 2,1 3,2  4,8 4,8 7,5
		§17-25, № 1 а при- менительно §13-5. табл. 1 № 7					
		§13-5, табл. 1. № 7					

## Состав отряда и стоимость эксплуатации машин

Машины	Расчетная стоимость машин, тыс. руб.	Бесфундаментная труба $d = 1,0$ м							
		на два оголовка			на 10 м тела трубы				
		Количество машин и коэффициент их загрузки	стоимость всех машин, тыс. руб.	стоимость машино-смены, руб.		Количество машин и коэффициент их загрузки	стоимость всех машин, тыс. руб.	стоимость машино-смены, руб.	
одной машины	всех машин			одной машины	всех машин				
Трактор «Беларусь» с навесным оборудованием экскаватора Э-153 и бульдозера Автомобиль-самосвал ЗИЛ-555	5,9	1(0,6)	5,9	6	6	1(0,8)	5,9	8	8
Автомобиль ЗИЛ-130	3,4	5(1,0)	17,0	10	50	1(0,4)	3,4	8	8
Автомобильный кран К-52	3,1	2(0,9)	6,2	10	20	1(0,3)	3,1	8	8
Компрессор ЗИФ-5 с тремя пневмотрамбовками ТР-4 или ТР-6	11,4	1(0,5)	11,4	20	20	1(0,3)	11,4	12	12
Итого	1,8	1(0,8)	1,8	11	11	1(0,8)	1,8	10	10
		1	42,3		107		25,6		46

Таблица 7.4

## Потребность ресурсов на строительство труб

Ресурсы	Бесфундаментная труба $d = 1,0$ м			Фундаментная труба $d = 1,0$ м			Фундаментная труба $d = 1,5$ м		
	на всю трубу	на два оголовка	на 10 м тела трубы	на всю трубу	на два оголовка	на 10 м тела трубы	на всю трубу	на два оголовка	на 10 м тела трубы
Машины									
Трактор «Беларусь» с навесным оборудованием экскаватора Э-153.	3,0	0,7	1,6	3,3	0,9	1,7	4,9	1,4	2,5
Автомобиль-самосвал, ЗИЛ-555,	7,3	6,2	0,8	6,6	6,6		10,5	10,5	
Автомобиль ЗИЛ-130, маш.-смен	2,8	2,1	0,5	3,7	2,1	1,1	6,0	3,1	2,1
Кран К-52, маш.-смен.	1,4	0,6	0,6	1,7	0,6	0,8	2,4	0,7	1,2
Компрессор ЗИФ-5 с тремя пневмотрамбовками ТР-4 и ТР-6	4,0	1,2	2,0	4	1,2	20,0	6,0	1,8	3,0
Рабочие									
Машинисты, чел.-дни..	3,0	0,7	1,0	3,3	0,9	1,7	4,9	1,4	2,5
Водители	11,5	8,9	1,8	12,0	9,3	1,9	18,9	14,3	3,2
Рабочие при машинах, чел.-дни	38,2	19,6	13,1	39,6	19,5	14,3	58,8	29,9	20,5
Рабочие на ремонте машин, чел.-дни	4,0	1,2	2,0	4	1,2	2,0	6,0	1,8	3,0
Итого	75,2	41,2	24,0	78,2	42,3	43,5	118,4	64,9	38,0



Таблица 7.5

## Потребность основных материалов на круглые трубы

Показатели	Стоимость единицы измерения	Фундаментная труба											
		Бесфундаментная труба $d = 1,0$ м						$d = 1,5$ м					
		на два оголовка		на 10 м тела трубы		на два оголовка		на 10 м тела трубы		на два оголовка		на 10 м тела трубы	
		Колич.	Сумма, руб.	Колич.	Сумма, руб.	Колич.	Сумма, руб.	Колич.	Сумма, руб.	Колич.	Сумма, руб.	Колич.	Сумма, руб.
Лекальные блоки фундаментов, м <sup>3</sup>	40	-	-	-	-	-	-	3,8	152	-	-	5,7	228
Звенья труб и блоки оголовков, м <sup>3</sup>	51	8,4	428	3,5	179	9,6	490	3,5	179	16,4	834'	7,2	367
Цементный раствор, м <sup>3</sup>	23	0,4	9	-	-	0,4	9	1,0	23	0,4	9	1,0	23
Бетонная смесь, м <sup>3</sup>	23	1,4	32	-	-	1,4	32	-	-	3,2	74	-	-
Гравийно-песчаная смесь, м	1	13,8	14	5,0	0	11,8	12	-	-	17,8	18	-	-
Щебень, м <sup>3</sup>	3	15,2	46	-	-	15,2	46	1,0	3	23,0	69	2,0	6
Камень для мощения, м <sup>3</sup>	2	28,0	56	-	-	28,0	56	-	-	45,0	90	-	-
Итого	-	-	585	-	184	-	645	-	357	-	1094	-	624
Прочие материалы, 3 % от общей стоимости, руб.	-	-	18	-	5	-	19	-	11	-	33	-	19
Всего, руб.	-	-	603	-	189	-	664	-	368	-	1127	-	643

## 8. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ

### 8.1. Обследование водопропускных труб на дорогах

Основными задачами эксплуатации труб являются следующие: поддержание нормального водотока через трубу, проверка состояния русла на выходе и входе трубы, оголовков и звеньев труб, стыков гидроизоляции, укрепление насыпи, а также своевременное устранение появившихся дефектов.

Осмотр труб с целью выявления дефектов производится, как правило, после прохождения паводковых вод, а также после сильных ливневых дождей. При этом отмечают наивысший уровень воды в трубе и величину подпора перед трубой, проверяют положение звеньев и оголовков труб, определяют наличие и величины просадок насыпи, оценивают надежность укрепления русла и откосов насыпи, проверяют состояние русла на участках, расположенных на 100 м выше и 50 м ниже трубы, а также определяют заиленность отверстия.

Размер отверстия и конструкция трубы, струенаправляющие оголовки и укрепления насыпи, а также русло должны быть такими, чтобы в период паводковых и ливневых вод обеспечивались расчетный уровень воды и пропускная способность, а также не происходила фильтрация воды через насыпь.

В процессе осмотра водопропускных труб под насыпями автомобильных дорог следует проверять: проезжую часть над трубой, укрепления откосов насыпи, оголовков и открылков, лотки и русло с верхней и нижней стороны трубы, видимую часть трубы, а также положение трубы в горизонтальной и вертикальной плоскостях, состояние кюветов, примыкающих к трубе. Необходимо обращать особое внимание на режим работы трубы и толщину наносов в лотках, проверять правильность отметок лотка на входе и выходе трубы и по ее длине.

При обследовании труб определяют состояние оголовков, звеньев, швов между звеньями, измеряют вертикальный и горизонтальный диаметры круглых труб, высоту и ширину отверстия прямоугольных труб, размеры конструктивных швов между звеньями и деформационных швов между секциями.

В конструкциях оголовков и звеньев труб необходимо выявлять: трещины и сколы в бетоне, мокрые пятна на бетонных поверхностях, следы коррозии арматуры, а также общие деформации элементов конструкции в виде просадок, смещений, растяжки труб, «сплющивание» элементов в вертикальной или горизонтальной плоскостях.

В швах между звеньями следует выявлять разрушение чеканочного раствора, отсутствие конопатки, разрывы гидроизоляции, признаки растяжки трубы, разрушение швов, увеличение их ширины со временем, а также просадки лотка.

Для определения положения трубы в вертикальной плоскости необходимо произвести нивелирование трубы по лотку, позволяющее получить характерные изменения профиля лотка. Положение трубы в горизонтальной плоскости (в плане) определяют по точкам конструкции, соответствующим середине высоты звеньев. Чтобы снять план трубы, можно использовать горизонтальное нивелирование с помощью теодолита.

В практике обследования труб автор наблюдал уникальный случай разрушения прямоугольной трубы с отверстием 1,5Ч1,5 м при высоте насыпи 12 м. При обследовании трубы было установлено, что звенья получили угрожающие деформации в верхних узлах сопряжения ригеля и стенок. Это сопровождалось существенным разрушением бетона и обнажением рабочей арматуры: оказалось, что она не заведена в узлы, как предусмотрено типовым проектом. Брак был допущен заводом-изготовителем. Выполнение ремонтно-восстановительных работ оказалось нецелесообразным и была построена новая водопропускная труба на искусственном подводящем русле.

Этот случай может служить примером необходимости строгого технического контроля при изготовлении звеньев дорожных труб.

## 8.2. Содержание и ремонт труб

В летний период необходимо вовремя очищать трубу от мусора и ила, а зимой – от снега и льда. Очистку производят либо вручную скребками, либо механизированным способом. Эффективна очистка труб с помощью гидромонитора. Таким способом очищают трубу с нижней стороны, освобождают русло от мусора и ила, а затем производят окончательную промывку трубы с верхней стороны. Для предотвращения засорения труб плавущими предметами перед ними устанавливают ограждения в виде гребенки или сетки.

Зимой рекомендуется отверстия труб закрывать хворостяными, соломенными и другими щитами, чтобы предотвратить их занос снегом. При частых оттепелях трубы не закрывают, а регулярно очищают от снега и наледей. Для уменьшения образования наледей трубы утепляют. Оставляемое отверстие должно быть достаточным для пропуска водотока. Обнаруженные повреждения труб необходимо

своевременно устранять. Ремонтные работы целесообразно выполнять в летний период времени.

При появлении небольших затухающих деформаций (осадки или смещения звеньев труб) дефектные швы заделывают просмоленной паклей и затем цементным раствором, лоток трубы выравнивают бетоном.

В случае просачивания воды через швы между звеньями железобетонных труб, а также через своды и стены бетонных и каменных труб необходим ремонт гидроизоляции. Для этого вскрывают насыпь над дефектным участком, заполняют швы паклей, пропитанной битумной мастикой, и затем перекрывают швы несколькими слоями рулонного материала (рубероида, гидроизола) по битумной мастике. На остальную часть поверхности трубы наносят слои битумной мастики.

При ремонте труб без вскрытия насыпи пустоты, образовавшиеся (вследствие выноса грунта) за трубой, следует заполнить песком или цементно-песчаной смесью под давлением. Для этого инъекторы устанавливают в швы между звеньями и нагнетают материалы с помощью цементопушки или растворонасоса, после чего швы тщательно заделывают обычным способом.

Дефектные трубы, получившие значительные деформации в результате образования пластических шарниров, допускается усиливать путем установки новых железобетонных звеньев внутри старых, если уменьшение отверстия существенно не влияет на пропуск водного потока.

Трубы с большими деформациями элементов при невозможности их усиления подлежат перестройке. До выполнения ремонтных работ такие трубы следует временно укрепить, установив рамы, подпорки и т.п. Переустройство труб осуществляется по специальному проекту.

### 8.3. Реконструкция труб

К реконструкции труб чаще всего прибегают при изменении габаритов проезжей части в связи с повышением категории автомобильной дороги. При этом предварительно должно быть проведено обследование старой трубы с целью оценки ее состояния.

Трубы, имеющие значительные дефекты, подлежат перестройке с полной заменой их элементов.

Пример реконструкции круглой водопропускной трубы приведен на рис. 8.1. Здесь на удлиняемой части трубы применены длинномерные центрифугированные звенья. Такое решение вызвано необхо-

димостью изменения отметок проезда в связи с уширением дороги. Старую и новую части трубы разделяют сквозными деформационными швами, обеспечивающими свободу деформаций пристраиваемой части.

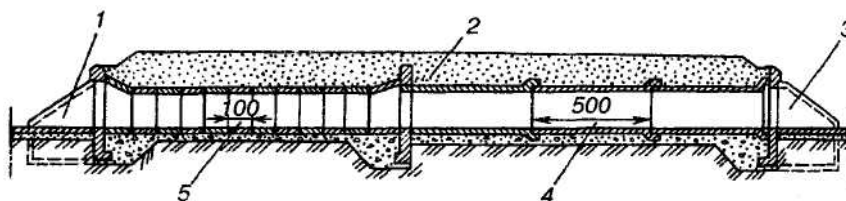


Рис. 8.1. Схема реконструированной трубы:  
1 – входной оголовок; 2 – насыпь; 3 – выходной оголовок;  
4 – длинномерное звено; 5 – короткое звено

При небольшом увеличении ширины насыпи можно обойтись только перестройкой оголовков путем наращивания и удлинения откосных крыльев трубы.

## 9. ОХРАНА ТРУДА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Основными причинами несчастных случаев являются нарушение правил охраны труда, несоблюдение производственной и трудовой дисциплины, а также допуск к работе лиц, не обученных мерам безопасности при производстве работ.

При строительстве труб все вновь поступающие рабочие допускаются к работе по заключению медкомиссии и только после прохождения инструктажа по технике безопасности – вводного и непосредственно на рабочем месте.

Основные требования к работникам и месту работ:

1. Все обязаны изучить технику безопасности и расписаться в соответствующем журнале.

2. Всем выдается спецодежда и СИЗ.

3. Машины и техника должны быть оснащены световой и звуковой сигнализацией.

4. Место проведения работ должно быть ограждено.

5. Должны быть расставлены специальные дорожные знаки, предупреждающие о месте проведения работ, возможных объездах, ограничениях скорости и т.д.

За выполнением вышеперечисленных норм должны следить инженерно-технические работники. На механиков возлагается осуществление правильного и безопасного использования строительных машин, механизмов, инструментов и оборудования.

Строительная площадка должна быть оборудована постоянными или временными санитарно-бытовыми устройствами: раздевалками, сушилками для одежды, помещениями для приема пищи, для обогрева людей в зимнее время, душевыми, медицинскими пунктами или аптечкой. На объекте должна быть питьевая вода.

При монтаже элементов трубы необходимо, чтобы два монтажника работали на зацепке а два – на отцепке, в котловане. Отцепка производится только в случае, когда элемент трубы прочно закреплен и занял проектное положение.

Гидроизоляционные работы необходимо проводить на открытом воздухе.

Перевозка элементов трубы на автомобилях по грунтовым дорогам производится со скоростью не более 20 км/ч. При этом блоки звеньев трубы крепятся к полу кузова с помощью брусьев и тросов. Для обеспечения безопасности работ, поступающие на объект сборные железобетонные элементы необходимо складировать в порядке их последовательного монтажа. При организации строительного производства

необходимо проводить специальные работы по охране окружающей среды: предотвращению загрязнения воздуха, воды и почвы, сохранению растительности, обеспечению рекультивации земель.

При производстве строительно-монтажных работ руководствуются следующими положениями. Не допускается сжигать на строительной площадке отходы и остатки материалов, в частности рулонных на битумной основе изоляционных материалов, автопокрышек и т.д., интенсивно загрязняющих воздух. Для предотвращения загрязнения поверхностных и подземных вод необходимо при мытье машин и оборудования откачивать загрязненную воду. Все производственные и бытовые стоки, образующиеся на строительной площадке, должны быть очищены и обезврежены.

На территории не допускаются не предусмотренное проектной документацией уничтожение древесно-кустарниковой растительности и засыпка грунтом корневищ и стволов растущих деревьев и кустарников. При производстве работ, связанных с вырубкой леса и кустарника, строительство необходимо организовать так, чтобы обеспечить отеснение животного мира за пределы строительной площадки.

Необходимо снимать и хранить плодородный слой почвы для последующей рекультивации земель или повышения плодородия малопродуктивных угодий. Во время проведения работ инженерно-технические работники обязаны следить за тем, чтобы исключались какие-либо утечки загрязнителей, выполнялись все технологические процессы строительства, что уменьшает загрязнение окружающей среды. После выполнения строительства рабочие обязаны произвести уборку всех возможных загрязнений от работ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пособии изложены основы методов проектирования, расчета и конструирования сборных железобетонных водопропускных труб под насыпями на автомобильных дорогах в объеме, соответствующем учебным планам подготовки инженеров путей сообщения по специальностям 270205 «Автомобильные дороги и аэродромы».

Эти методы отражают современный уровень развития техники и технологии в дорожном деле. Вместе с тем теория и практика проектирования и расчета водопропускных труб не стоят на месте, а являются развивающимися разделами науки о проектировании и расчете автомобильных дорог и искусственных сооружений на них. Методы проектирования водопропускных труб постоянно развиваются и совершенствуются с учетом развития смежных наук, накопления опыта проектирования и эксплуатации, анализа и учета влияния на водопропускные трубы современных нагрузок и эксплуатационных сред.

Рассмотренные в пособии методы расчета и проектирования опираются на существующие нормативные документы. Но при изучении соответствующей дисциплины студенты могут и должны критически относиться к излагаемому материалу, понимать необходимость его изучения и совершенствования.



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называют поверхностными водами?
2. Что называют подземными водами?
3. Что называют водотоками?
4. Какие бывают водотоки?
5. Что такое «бассейн» или водосбор?
6. Как определяются гидрографические характеристики водосборных бассейнов по трассе дороги?
7. Что такое водораздел?
8. Виды водопропускных труб ?
9. Основные элементы водопропускных труб?
10. Как определяется площадь бассейна?
11. Определение длины и среднего уклона главного лога.
12. Определение уклона лога у сооружения.
13. Как определить расход ливневого стока?
14. Как определить расход стока талых вод?
15. Определение пропускной способности трубы.
16. Для чего у трубы устраиваются оголовки?
17. Для чего трубу расчленяют на секции и звенья?
18. Как определяются габаритные размеры длиномерных секций труб?
19. Как определяется полная длина водопропускной трубы?
20. Для чего трубы укладывают на фундамент?
21. В каких случаях допускается опирание труб на грунтовую подушку?
22. Когда эффективно использовать железобетонный фундамент?
23. Когда используется свайное основание под трубы?
24. Для чего устраивается гидроизоляция на водопропускных трубах?
25. Для чего надо укреплять лотки у водопропускных труб?
26. Техника безопасности при работе с битумом.
27. Как вода поступает в дренажную трубу?
28. Технология применения геотекстильных материалов при устройстве дренажей.
29. Техника безопасности при работе с битумом.
30. Как вода поступает в дренажную трубу?
31. Технология применения геотекстильных материалов при устройстве дренажей.
32. Как влияет водно-тепловой режим на свойства грунтов земляного полотна.

33. От каких факторов зависит величина строительного подъема?
34. Какими преимуществами обладают металлические трубы из гофрированных элементов?
35. Особенности уплотнения грунта, основные принципы организации работы при строительстве водопроводных труб.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник инженера-дорожника: Проектирование автомобильных дорог [Текст] / под ред. Г.А. Федотова. – М.: Транспорт, 1989. – 437 с.
2. Справочник инженера-дорожника: Изыскания и проектирование автомобильных дорог [Текст] / под ред. О.В. Андреева. – М.: Транспорт, 1977. – 559 с.
3. СНиП 2.05.03–84. Мосты и трубы [Текст]. – М.: Госстрой СССР, 1986. – 200 с.
4. Федотов, Г.А. Изыскания и проектирование автомобильных дорог [Текст]: учебник. В 2-х частях / Г.А. Федотов, П.И. Поспелов. – М.: Абрис, 2012.
5. Методологические указания по проектированию и расчету водопропускных труб [Текст]/ Н.Н. Федоренко. – Ростов н/д, 1992. – 27 с.
6. СНиП 2.05.02–85\* Автомобильные дороги. Госстрой СССР [Текст]. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 56 с.
7. СНиП 2.05.03–84. Мосты и трубы [Текст]. – М.: Госстрой СССР, 1986. – 200 с.
8. Пособие по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений [Текст]/ под ред. Г.Я. Волченкова. – М.: Транспорт, 1992. 406 с.
9. СНиП 23-01–99. Строительная климатология [Текст]. – М., 2000.
10. Лисов, В.М. Дорожные водопропускные трубы [Текст] / В.М. Лисов. – М.: Информ.-изд. центр «ТИМР», 1998. – 140 с.





### Пример определения расчетного расхода для сооружения

Рассмотрим пример определения расчетного расхода

Пример определения расчетного расхода для сооружения:

а) установка исходных данных.

Площадь водосборного бассейна  $F=1,8$  км<sup>2</sup> находим по топографической карте, очерчивая ее контуры по водораздельным линиям.

Средний уклон главного лога  $I_{л}$  определяем делением превышения отметок на длину лога. В данном примере

$$I_{л} = \frac{157,50 - 138,38}{2100} = 0,008 \text{ или } 8\%.$$

Уклон лога у сооружения  $I_0$ , необходимый для определения бытовых условий водотока, определяют обычно на участке 300 м (200 м выше и 100 м ниже сооружения). Можно взять и другие расстояния, но с соотношением, примерно равным 2:1. В данном случае при отметках точек выше сооружения – 139,30 и ниже сооружения 138,02 уклон лога у сооружения

$$I_{л} = \frac{139,30 - 138,02}{300} = 0,400 \text{ или } 4\%.$$

Значение морфологического коэффициента при среднем уклоне лога  $I_{\psi} = 0,008$   $\psi = 0,028$ .

Район проложения трассы расположен в Одесской области в зоне 2г. Грунт – тяжелый суглинок относится к III категории почвы на впитываемость. Предполагая проектировать мост на дороге III категории в условиях менее развитой дорожной сети, вероятность превышения паводка ВП 2 %, т.е. с повторяемостью 1 раз в 50 лет. При указанных условиях слой ливневого стока для подрайона 2г  $h=40$  мм.

Растительный покров на бассейне, судя по топографической карте, представляет собой редкий кустарник.

Величину  $z$  принимаем равной 5 мм.

$$(h - z)^m = (40 - 5)^m = 385.$$

При площади водосборного бассейна  $F=1,8$  км<sup>2</sup> величина  $F^n = 1,8^n$ .

Так как русло рассматриваемого водотока представляет собой извилистое ложе, коэффициент гидравлической шероховатости лога  $m_{л} = 20$ , а коэффициент гидравлической шероховатости склонов относительно хорошо обработанной вспашкой и боронованием пашней  $m_{с} = 30$ . Коэффициент  $K$  по данным характеристикам равен 1,6.

В связи с отсутствием на бассейне озер и малой длиной и шириной бассейна (менее 5 км) коэффициенты  $\delta_0$  и  $y$  принимаем равными 1;

б) определение максимального расхода и объема стока ливневых вод  $Q_{л}$  и  $W$ :

$$Q_{л} = \psi(h-z)^m F^n K \delta_o = 0,028(40-5)^m 1,8^n \cdot 1,6 \cdot 1 = \\ = 0,028 \cdot 385 \cdot 1,8 \cdot 1,6 \cdot 1 = 31,0 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расход полного стока определяем по формуле

$$Q_{л} = 0,56hF = 0,56 \cdot 40 \cdot 1,8 = 40,3 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Принимаем меньшую величину  $C_{л} = 31,0 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Объем стока определяем по формуле

$$W = (h-z)F = (40-5)1,8 = 63,0 \text{ тыс. м}^3;$$

в) определение максимального расхода от талых вод  $Q_{т}$ .

Согласно карте, средний слой стока 6 мм с учетом поправочного коэффициента для малых бассейнов (менее 100 км<sup>2</sup> в европейской части СССР при холмистом рельефе и глинистых грунтах—1,1)  $A = 1,1 \cdot 6 = 6,6 \text{ мм}$ .

По карте изолиний коэффициент вариации для Одесской области равен единице, умноженной на поправочный коэффициент 1,25 при площади бассейна менее 200 км<sup>2</sup>, т. е. коэффициент вариации  $C_{vh} = 1 \cdot 1,25 = 1,25$ .

Для равнинных водосборов коэффициент асимметрии  $C_{sh} = 2C_{vh}$ .

При вероятности превышения паводка ВП 2% и коэффициенте вариации  $C_{л} = 1,25$  находим ординату модульного коэффициента слоя стока  $K_p = 5$  и расчетный слой стока  $h_p = hK_p = 6,6 \cdot 5 = 33 \text{ мм}$ .

Приняв значения коэффициента дружности паводка  $K_0 = 0,020$ , показатель степени  $n = 0,25$  и  $\delta_1 = \delta_2 = 1$  в связи с отсутствием на бассейне озер, залесенных и заболоченных участков, максимальный расход от талых вод определяем по формуле

$$Q_{т} = \frac{K_0 h_p F}{(F+1)^n} \delta_1 \delta_2 = \frac{0,02 \cdot 33 \cdot 1,8}{(1,8+1)^{0,25}} 1 \cdot 1 = 0,92 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Сравнивая расходы от ливневых и талых вод, за расчетный принимаем больший  $Q_{л} = 31,0 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

г) определение расчетного расхода с учетом аккумуляции воды перед сооружением

Согласно предполагаемому типу укрепления в виде одиночного мощения из камня размером 15 см средняя допускаемая скорость в сооружении  $v_c = 3,0$  м/с.

При этой скорости напор (глубина воды перед сооружением)

$$H = 1,43 \frac{v^2 \cdot c}{g} = 1,43 \frac{3,0^2}{9,81} = 1,32 \text{ м}$$

при горизонте с отметкой  $138,38 + 1,32 = 139,70$ , которая ниже допустимой с точки зрения возможного затопления полезных угодий – 140,00.

При живом сечении на ПК 29+50 сумма заложений откосов составит:

$$m_1 + m_2 = \frac{l_1}{H_1 - H_0} + \frac{l_2}{H_2 - H_0} = \frac{30}{140,00 - 138,38} + \frac{25}{140,00 - 138,38} = 33,9.$$

Коэффициент, учитывающий форму лога при среднем уклоне лога  $I_{\text{л}} = 8$  ‰, равен

$$K_o = \frac{m_1 + m_2}{6I_{\text{л}}} = \frac{33,9}{6 \times 8} = 0,71,$$

а объем пруда  $W_{\text{пр}} = K_o H^3 = 0,71 \cdot 1,32^3 = 1,63$  тыс. м<sup>3</sup>.

При  $\frac{W_{\text{пр}}}{W} = \frac{1,63}{63,0} = 0,026$  коэффициент аккумуляции  $\lambda = 0,985 \approx 1$ ,

т.е. в рассматриваемом примере аккумуляция не приводит к снижению расхода в сооружении и расчетный расход принимаем равным  $Q_c = 31,0$  м<sup>3</sup>/с.

### Пример расчета объёмов строительных работ по трубе

#### 1. Объёмы земляных работ по планировке строительной площадки

Постройка железобетонных труб начинается с разбивки оси, установки и закрепления рабочего репера и отметок фундамента, установления точки пересечения продольной и поперечной осей.

При постройке сборных труб из колец, изготовленных на заводе, работа выполняется в следующем порядке действий:

1) перевозка сборных элементов с места хранения (или завода изготовителя) к месту постройки – КАМАЗ-43253;



Продолжение прил. 2

- 2) разгрузка элементов краном – КС2561;
- 3) устройство котлована бульдозером ДЗ-18 и экскаватором ЭО-3322; зачистка вручную;
- 4) устройство оснований для трубы;
- 5) установка звеньев труб и блоков оголовков на место; сборку начинают с выходного оголовка, а заканчивают входным оголовком и сборным лотком, пользуясь краном – КС2561;
- 6) устройство гидроизоляции БМ-3;
- 7) засыпка труб бульдозером – ДЗ-18;
- 8) тщательное уплотнение пазух трамбуемыми машинами – И-116.

После расчета длины трубы, назначения звеньев и оголовков, размеров и разбивки строительной площадки необходимо получить ровную горизонтальную поверхность под звенья и оголовки трубы и для производства строительного-монтажных работ, где одновременно будет находиться техника, а также материалы для постройки водопропускного сооружения.

Принимаем следующий размер строительной площадки: по длине 29 и по ширине 28 м.

## 2. Объемы работ по строительству трубы

Таблица 1 П 2  
Объемы работ по строительству трубы

Вид работ	Единицы измерения	Объемы работ
1	2	3
Планировка строительной площадки бульдозером ДЗ-18 за 3 похода по одному следу	м <sup>3</sup>	63,1
Бетонирование лотков оголовков толщиной 20 см и уход за свежележженным бетоном	м <sup>3</sup>	1,3
Конопатка швов звеньев трубы паклей пропитанной битумом	кг	11,05
Устройство обмазочной гидроизоляции битумом	м <sup>2</sup>	107,7
Устройство оклеичной гидроизоляции	м <sup>2</sup>	5,6
Устройство щебёночных подушек под оголовки трубы	м <sup>3</sup>	1,7
Устройство щебёночных подушек под лотки трубы	м <sup>3</sup>	2,7
Устройство щебёночных подушек под плиты и бетонные упоры	м <sup>3</sup>	2,7
Укрепление откосов и площадей железобетонными плитками толщиной 10 см	1 плита	134

Продолжение прил. 2

Окончание табл. 1 П 2

1	2	3
Укладка звеньев трубы	1 звено	7
Установка порталных стенок автокраном КС-2561	1 блок	2
Установка откосных крыльев оголовком автокраном КС-2561	1 блок	4
Обратная засыпка котлована вручную с трамбовкой и электротрамбовкой И-132	1 м <sup>3</sup>	34,7
Обратная засыпка котлована бульдозером и уплотнение слоя по 0,15 м ручной трамбовкой И-116	100 м <sup>3</sup>	28,34
Планировка площадки под трубу бульдозером ДЗ-18	1 м <sup>3</sup>	230

### **3. Строительно-монтажные работы**

Постройка трубы включает подготовительные работы и рытье котлована, укладку ЩПГП и трубы с оголовками, устройство гидроизоляции и засыпку трубы с уплотнением, укреплением русла и откосов насыпи.

Строительно-монтажные работы производим на площадке 29 м на 28 м, в пределах которой располагаем используемую технику.

### **4. Подготовительные работы**

Перед началом строительства водопропускного сооружения требуется провести подготовительные работы, которые заключаются в расчистке строительного участка от кустарников и леса, пней и камней с помощью кусторезов, корчевателей-собрателей, бульдозеров. Снятие, перемещение и выгрузка растительного (плодородного слоя) производится с помощью бульдозера. ДЗ-18 в отвалы для дальнейшего использования при рекультивации (восстановления) земель, а также при благоустройстве площадки.

### **5. Проект по разработке котлована**

Чтобы производить укладку звеньев трубы требуется вначале создать ровную, горизонтальную площадку на проектной глубине. Вначале нужно выкопать котлован на проектную глубину. Для этих целей применяется экскаватор ЭО-3311, который работает в паре с самосвалом(ами) КАМАЗ-5511. Выбирая грунт, экскаватор оставляет нетронутым слой грунта примерно в 30 см. Этот слой оставляют для того, чтобы не нарушить естественной плотности грунта.

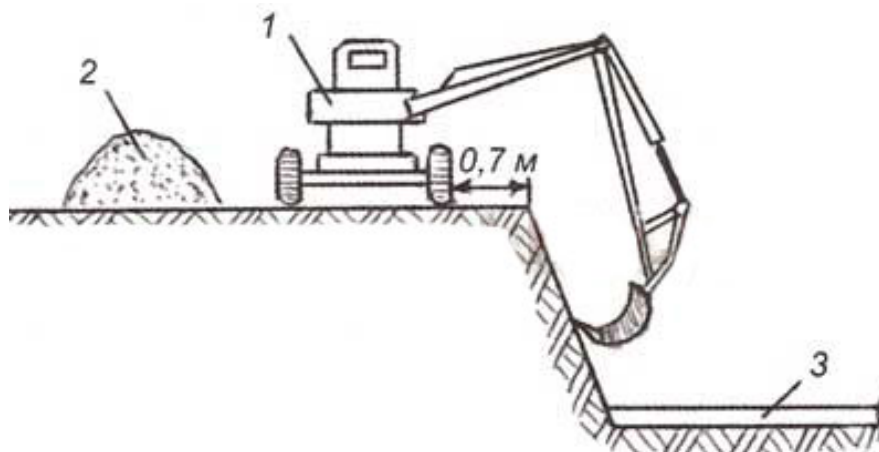


Рис. 1П2. Схема разработки котлована экскаватором:  
1 – экскаватор; 2 – грунт для обратной засыпки; 3 – недобор грунта экскаватором 30 см

После разработки котлована его дно нужно спрофилировать. Эта операция выполняется с помощью бульдозера ДЗ-18. Планировка может выполняться послойным способом – выемка разрабатывается на толщину снимаемой стружки за один проход бульдозера последовательно по всей ширине выемки или отдельным её частям. Этот способ применяют при сложном очертании площадок и при небольшой глубине срезки.

## 6. Проект производства работ по устройству фундамента

В результате изысканий было выявлено, что грунт не позволяет в качестве основания трубы выбрать естественное основание. Перед устройством основания предварительно срезаем растительный слой. Затем поверхность грунта профилируют, после этого устанавливают ложе (ЩПГП) под трубу, оно устанавливается универсальным экскаватором и бригадой землекопов, и все основания уплотняют электро-трюмбовками в несколько проходов.

## 7. Проект производства монтажа оголовков и звеньев труб

Монтаж трубы начинаем только после инструментальной проверки отметок и положения в плане фундамента и временных устройств, для монтажа, а также выполнения разбивочных работ, определяющих проектное положение монтируемых конструкций, с оформлением акта о результатах проверки.

Сначала фиксируем порталную стенку, после оголовочное звено. Монтаж выполняется краном КС-2561. Между звеньями фиксируются деформационные зазоры 3 см, остальные 1 см. Монтаж производят по разбивочной схеме с учетом строительного подъема. Работы заканчиваются монтажом входной порталной стенки с конструктивными элементами (откосы площадки).

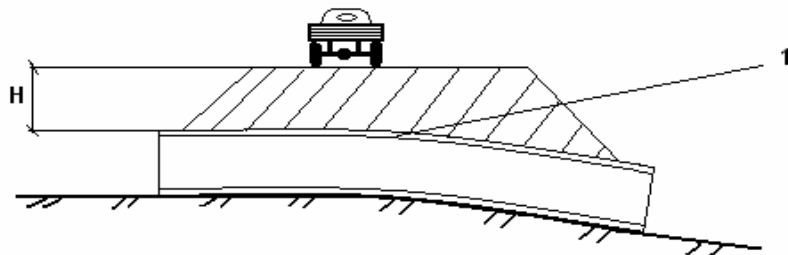


Рис. 2П2. Схема строительного уклона (строительный уклон  $i = 1/50H$ ), где  $H$  – высота насыпи

Монтаж трубы производим с постоянным строительным уклоном и ведём от выходного оголовка к входному.

### **8. Проект производства работ по устройству обмазочной и оклеечной гидроизоляции**

Целью данных работ является повышение коррозионной стойкости водопропускного сооружения. Гидроизоляция должна быть водонепроницаемой по всей изолируемой поверхности; водо- и биохимически стойкой; тепло- и морозостойкой эластичной во времени и интервале расчётных температур; эксплуатационно-надёжной при длительных воздействиях воды, балласта, деформаций бетона и различных нагрузок; гидроизоляция должны быть эластичной во времени и интервале расчётных температур; сохранять целостность при образовании на изолируемой поверхности трещин с раскрытием, допускаемых нормами проектирования; не содержать компонентов, оказывающих коррозионное воздействие на бетон и металл.

Гидроизоляцию назначаем для звеньев и оголовков труб согласно ВСН 32–81. Вид гидроизоляции: битумная мастичная неармированная, индекс гидроизоляции БМ-3 (окрашиваем поверхность трубы битумным лаком), климатическая зона 1–3, конструкция гидроизоляции (без подготовительного и защитного слоя) грунтовка, слой толщиной 0,1 мм и мастика битумная Ю-2 слой толщиной 3+0,5 мм.

Швы между торцами звеньев и блоками оголовков конопатим следующим образом: закладываем жгуты из пакли, пропитанные раствором битума в бензине (состав 1:1 по массе); жгуты утапливаем на 1–1,3 см; зазор над жгутами заполняем битумной мастикой; с внутренней стороны шов заполняем цементно-песчаным раствором (состава 1:3);

В пределах той части трубы, которая опирается на фундамент, зазор конопатим жгутом пакли также изнутри и заделываем цементно-песчаным раствором на толщину 1/4 звена.

## **9. Проект производства работ по засыпке водопропускной трубы**

Отсыпку ведём грунтом с объемной массой 1,8 т/м<sup>3</sup>.

При засыпке трубы сначала отсыпаете грунтовую призму с двух сторон трубы, а затем насыпь на проектную высоту, бульдозером ДЗ-18. Отсыпка ведётся слоями по 0,2 м. После укладки каждый слой в 30 см от тела трубы трамбуется с помощью ручной электротрамбовки И-116 на высоту до 0,5 м и более тяжёлыми средствами (каток ДУ-132) на расстоянии свыше 30 см. Затем землеройными машинами отсыпаете насыпь из однородного грунта горизонтальными слоями не более 0,15 м с тщательным послойным уплотнением, до проектного профиля трубу засыпают грунтом при сооружении земляного полотна. Высота засыпки над трубой должна быть не менее 0,5 м. При выполнении работ по засыпке водопропускной трубы необходимо соблюдать требования СНиП II-39–76 и СНиП 3.06.04–91, ВСН 81–80.

Разработку карьера ведёт экскаватор ЭО-3322 с объёмом ковша 0,5 м<sup>3</sup>. Данный экскаватор хорошо работает в паре с автосамосвалом КАМАЗ-5511 с грузоподъёмностью 11 т. При разгрузке грунта колёса автосамосвала должны находиться от трубы на расстоянии не менее 1 м.

Состав работ:

а) Источник обоснования ЕНиР §Е2-1-9 «Погрузка грунта из карьера экскаватором в автосамосвал».

Используемая машина – экскаватор ЭО-3322.

Состав звена – машинист VI разряда (1 чел.), помощник V разряда (1 чел.).

Норма времени на 100 м<sup>3</sup> – 1,6 чел.-час; 1,6 маш-час.

$$P_{\text{см}} = \frac{8 \cdot 100}{1} = 800 \text{ м}^3 \text{ в смену.}$$

Объёмы работ – 900 м<sup>3</sup>.

Количество чел.-смен – 2

Количество маш.-смен – 2.

б) Транспортировка грунта автосамосвалом КАМАЗ-5511

Норма времени на 40 м<sup>3</sup> – 1,6 чел.-час; 1,6 маш.-час,

$$P_{\text{см}} = \frac{8 \cdot 100}{1.6} = 500 \text{ м}^3 \text{ в смену.}$$

$$N_{\text{ав}} = \frac{P_{\text{э}}}{P_{\text{ав}}} = \frac{500}{40} = 11 \text{ авт.}$$

Количество чел.-смен – 2.

Количество маш.-смен – 2.

в) Источник обоснования ЕНиР §Е2-1–44 п.26 «Обратная засыпка котлована вручную с трамбованием электротрамбованием».

Состав звена – рабочий I разряда (1 чел.) и рабочий II разряда (1 чел.).

Норма времени на 1 м<sup>3</sup> – 0,88 чел.-час.

Объёмы работ – 26,7 м<sup>3</sup>.

Количество чел.-смен – 2,94.

г) Источник обоснования ЕНиР §Е2-1-22. «Обратная засыпка котлована бульдозером с перемещением грунта до 50 метров слоями по 0,2 метра».

Используемая машина – бульдозер ДЗ-18.

Состав звена – машинист VI разряда (1 чел.).

Норма времени на 100 м<sup>3</sup> на первые 10 м – 0,5 чел.-час; 0,5 маш.-смен; на каждые последующие 10 м добавляют по 0,43 чел.-час; 0,5 маш.-смен.

Объёмы работ – 900 м<sup>3</sup>.

Количество чел.-смен – 2.

Количество маш.-смен – 2.

д) Источник обоснования ЕНиР §Е2-1–31 «Послойное уплотнение самоходным катком».

Используемая машина – самоходный каток ДУ-132.

Состав звена – машинист VI разряда (1 чел.).

Длина гона – до 100 м.

Толщина слоя – 0,2 м.

Количество проходов – 8.

Норма времени на 100 м<sup>3</sup> – 0,41 чел.-часа; 0,41 маш.-часа (4 прохода по одному следу); добавляют на каждый проход сверх первых четырёх 0,08 чел.-часа; 0,08 маш.-часа.

Объёмы работ – 900 м<sup>3</sup>.

Количество чел.-смен – 0,62.

Количество маш.-смен – 0,62.

е) Послойное увлажнение грунта.

Используемая машина – ПМ-130Б.

Состав звена – водитель.

**10. Назначение укрепления русла и откосов у водопропускной трубы**

Скорость на выходе из трубы составляет 3,0 м/с, что превышает скорость, при которой грунт не размывается.

Русло укрепляем на входном участке при помощи блоков П-1, а также бетонными упорами У-1. Принимаем длину укрепления 1,5 м. А для выходного участка делаем укрепление в виде погребной части из монолитного бетона В15, блоков П-1 и бетонных упоров У-1. Откосы укрепляем с помощью плитки П-1.

Таблица 2 П 2

Технологическая последовательность процессов с расчетом объемов работ и потребляемых ресурсов

№ п/п	Источник обоснования нормы выработки	Описание рабочих процессов с расчетом объемов работ	Единицы измерения	Объемы работ	Нормы времени	Потребное количество		Состав звена (бригада)
						чел./дни	маш./см.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Е2-1-5	Срезка и удаление растит. слоя ДЗ-18, гр. грунта 1	1000 м <sup>2</sup>	230	0,69 0,69	0,41	0,41	Машинист 4 разр. – 1 чел.
2	Е2-1-9	Разработка грунта ЭО-3322	1000 м <sup>3</sup>	63,1	2,8 2,8	0,01	0,01	Машинист 4 разр. – 1 чел.
3	Е2-1-24	Планировка строительной площадки бульдозером ДЗ-18 за 3 похода по одному следу	1000 м <sup>3</sup>	63,1	0,35 0,35	0,001	0,001	Машинист 5 разр. – 1 чел.
4	Е4-4-92	Погрузка звеньев трубы диаметром 1,5 м автокраном КС-2561	одно звено	7	0,375 0,125	0,32	0,1	Машинист крана 4р-2 Рабочий 1р-1, 2р-1
5	Е4-4-92 №1	Погрузка блоков оголовков автокраном КС-2561	один блок	6	0,66 0,22	0,5	0,16	Машинист крана 4р-1 Рабочий 1р-1, 2р-1
6	Е4-4-92	Разгрузка и сортировка блоков оголовков автокраном КС-2561	один блок	6	0,66 0,22	0,5	0,16	Крановщик – 6 разр. – 1 чел. Стропальщики 2 чел.

Продолжение прил. 2  
Продолжение табл. 2 П 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	Е4-4-92 №6	Разгрузка и сортировка звеньев трубы автокраном КС-2561	одно звено	7	0,375 0,125	0,33	0,11	Машинист крана 4р-2 Рабочий 1р-1 2р-1
8	Е2-1-31	Разработка грунта вручную и зачистка поверхности дна и стенок	1 м <sup>3</sup>	5,01	1,3	0,81		Рабочий 1р-2
9	Е2-1-18А	Погрузка материала, щебеночной смеси экскаватором ЭО-3322	1 м <sup>3</sup>	9,8	2,8 2,8	3,43	3,43	Машинист 4 разр. – 1 чел.
10	Е4-4-88	Устройство щебеночной подготовки под тело трубы	100 м <sup>3</sup>	8,5	2.0 2.0	0,02	0,02	Рабочий 2р-3
11	Е-1-4-93 п. 1	Установка порталных блоков автокраном КС-2561	один блок	2	2,5 0,5	0,62	0,12	Машинист крана 6р-1 Монтажники 4р-2
12	Е-1-4-93	Установка откосных крыльев оголовков автокраном КС-2561	один блок	4	1,85 0,37	0,92	0,18	Машинист крана 6р-1 Монтажники 4р-2
13	Е-1-4-94 п. 26	Установка звеньев трубы автокраном КС-2561	одно звено	7	2,4 0,48	2,1	0,42	Машинист крана 6р-2 Монтажники 4р-2
14	Е-1-4-93 П 1	Бетонирование лотков оголовков толщиной до 20 см и уход за свежеуложенным бетоном	1 м <sup>3</sup>	0,88	3,49	0,38		Бетонщик 4р-1, 3р-2
15	Е-1-4-93 п1-3	Бетонирование лотков оголовков, уход за свежеуложенным бетоном	1 м <sup>3</sup>	1,0	3,49	0,43		Бригадир 4р-1, монтажники 4р-2ч, 3р-2ч



Окончание прил. 2  
Окончание табл. 2 П 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
16	Е-1-4-99 п. 1	Конопатка швов звеньев трубы паклей с пропиткой трубы битумом	кг	8,5	0,16	0,17		Монтажники 4р-2ч, 3р-2ч.
17	Е-1-4-102 п. 1	Устройство оклеечной гидро- изоляции слоём рулонных мате- риалов	1 м <sup>2</sup>	3,7	0,54	0,25		Гидроизо- лировщики 3р-2
18	Е4-4-99 п. 2	Заделка швов це- ментным раство- ром	1 м шва	1,7	0,084	0,017		Бетонщик 4р-1
19	Е4-4-101	Устройство об- мазочной гидро- изоляции битумом	1 м <sup>2</sup>	101	0,26	3,28		Гидроизо- лировщики 3р-2
17	Е-1-4-44 П 2 б	Обратная за- сыпка котлована вручную с тром- бованием грунта электротрам- бовкой	1 м <sup>3</sup>	143.0 7	0,88	1,74	-	Землекопы 2р-1, 1р-1
22	Е2-1-8	Засыпка водо- пропускной трубы	100 м <sup>3</sup>	610	1,6	2	2	Машинист 5 разр. – 1 чел.

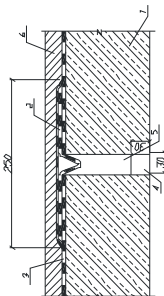
Общая трудоёмкость работ:

Количество чел.-дн. равно 7.

Количество маш.-смен равно 5.

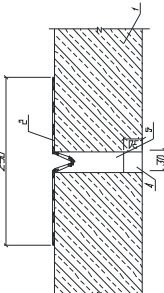
Устройство стыка звеньев и секции трубы

ПРИ ВНЕШНЕЙ НАСТЯННОЙ СЕРВИСНОЙ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ (СНЕРЖИНОЙ)



- 1 - защитный слой
- 2 - гидроизоляция труб, примененная в соответствии с инструкцией по жесткой гидроизоляции
- 3 - покрытие

ПРИ ВНЕШНЕЙ НАСТЯННОЙ СЕРВИСНОЙ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ (ОПЕЛОВОЙ)



- 1 - защитный слой
- 2 - гидроизоляция труб, примененная в соответствии с инструкцией по жесткой гидроизоляции
- 3 - покрытие

Соединение гидроизолирующих стыков звеньев отливки и техн. трубы

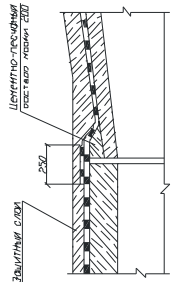
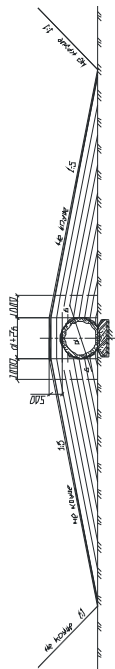
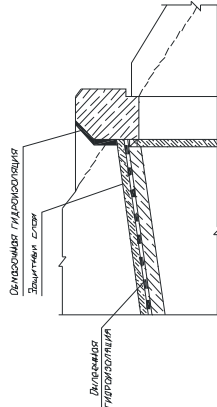


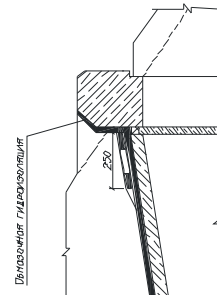
Схема засыпки трубы



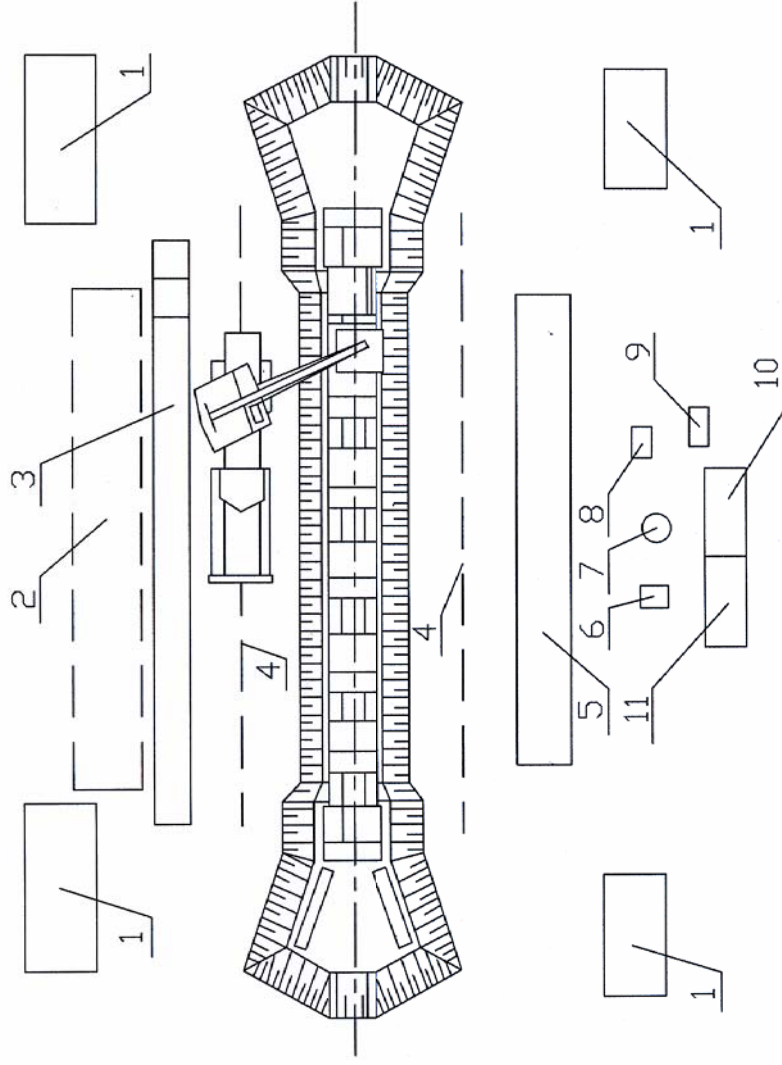
Устройство конькового звена с портальной стенкой (при оклеечной гидроизоляции)



Устройство конькового звена с портальной стенкой (при оклеечной гидроизоляции)



1. Стык звеньев трубы подлежит обработке согласно ПП ЭСП-1-11. Трубы водопроводящие должны иметь увеличенный диаметр для установки защитных и др. элементов.
2. Работы выполняются в соответствии с инструкцией по оклеечной гидроизоляции и устройству защитных и мембранных покрытий.
3. Диаметр увеличивается на высоту до 0,5 м над вершиной трубы, которая устанавливается на стыке, с последующим переходом к диаметру трубы.
4. Пластины из асбестоцементного листа устанавливаются в соответствии с требованиями к ним.
5. Пластины из асбестоцементного листа устанавливаются в соответствии с требованиями к ним.
6. Пластины из асбестоцементного листа устанавливаются в соответствии с требованиями к ним.
7. Пластины из асбестоцементного листа устанавливаются в соответствии с требованиями к ним.
8. Пластины из асбестоцементного листа устанавливаются в соответствии с требованиями к ним.
9. Пластины из асбестоцементного листа устанавливаются в соответствии с требованиями к ним.
10. Пластины из асбестоцементного листа устанавливаются в соответствии с требованиями к ним.



План строительной площадки трубы:

- 1 – склад блоков оголовков; 2 – склад блоков фундаментов; 3 – склад лекальных блоков;
- 4 – путь движения крана; 5 – склад звеньев трубы; 6 – контейнер с цементом; 7 – бетоносмеситель;
- 8 – бак для воды; 9 – электростанция; 10 – склад щебня; 11 – склад песка





## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ .....	5
2. ВИДЫ ТРУБ И ИХ ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ .....	10
3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ПРОЕКТИРОВАНИЯ .....	17
3.1. Исходные данные .....	17
3.2. Климатическая характеристика региона расположения дороги .....	17
3.2. Гидрогеологические условия .....	18
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА .....	19
4.1. Определение площади водосборов .....	19
4.1.1. Определение площади водосборного бассейна с помощью кальки и миллиметровки .....	19
4.1.2. Способ палетки .....	20
4.1.3. Планиметрирование .....	20
4.1.4. Графический способ .....	21
4.2. Определение длины и среднего уклона главного лога .....	22
4.3. Определение уклона лога у сооружения .....	22
4.4. Определение глубины лога перед искусственным сооружением .....	24
4.5. Определение коэффициентов заложения склонов лога .....	25
4.6. Определение коэффициентов залесенности, заболоченности, озерности .....	26
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО СТОКА СООРУЖЕНИЯ .....	28
5.1. Расчет расхода ливневого стока .....	28
5.2. Расчет расхода стока талых вод .....	31
6. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ ...	35
6.1. Определение пропускной способности трубы при безнапорном режиме .....	35
6.2. Расчет отверстий труб с учетом аккумуляции воды у сооружения .....	37
6.3. Определение высоты насыпи земполотна над трубой и длины трубы .....	40
6.4. Расчет укрепления русла и откосов у водопропускных труб ...	41
6.5. Определение горизонта подпертых вод .....	44

7. ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ВОДОПРОПУСКНОЙ ТРУБЫ.....	45
7.1. Разбивочные работы .....	45
7.2. Разработка котлованов и подготовка оснований.....	46
7.3. Монтаж и засыпка труб.....	51
7.4. Устройство гидроизоляции труб.....	53
7.5. Засыпка труб грунтом .....	56
7.6. Укрепительные и отделочные работы .....	61
7.7. Технологическая схема комплексной механизации .....	63
8. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ.....	74
8.1. Обследование водопропускных труб на дорогах.....	74
8.2. Содержание и ремонт труб .....	75
8.3. Реконструкция труб .....	76
9. ОХРАНА ТРУДА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ .....	78
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	80
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....	81
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	83
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	84

Учебное издание

Саксонова Елена Степановна

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО  
ВОДОПРОПУСКНОЙ ТРУБЫ**  
Учебное пособие

Редактор С.В. Сватковская  
Верстка Н.А. Сазонова

---

Подписано в печать 20.05.13. Формат 60×84/16.  
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.  
Усл.печ.л. 6,045. Уч.-изд.л. 6,5. Тираж 80 экз.  
Заказ № 109.



---

Издательство ПГУАС.  
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.