

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра строительных технологий и конструкций

В. В. ЛЕВТРИНСКИЙ, П. Ю. ЭТИН

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОПРОПУСКНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ И БЕТОННЫХ ТРУБ ПОД НАСЫПЯМИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области транспорта и транспортной деятельности
для обучающихся по специальности 1-37 02 05 «Строительство железных
дорог, путь и путевое хозяйство» в качестве пособия по учебной
дисциплине «Искусственные сооружения транспортных коммуникаций»*

Гомель 2022

УДК 624.196.012.45:625.1(075.8)
ББК 38.78
ЛЗ7

Рецензенты: кафедра проектирования, строительства и эксплуатации транспортных объектов Белорусского государственного университета транспорта (зав. кафедрой – канд. техн. наук, доцент *П. В. Ковтун*);
начальник отдела инженерных сооружений службы пути Управления Белорусской железной дороги канд. техн. наук *Д. В. Черкасов*

Левтринский, В. В.

ЛЗ7 Проектирование водопропускных железобетонных и бетонных труб под насыпями железных дорог : пособие / В. В. Левтринский, П. Ю. Этин ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2022. – 56 с.
ISBN 978-985-554-981-0

Рассмотрены все основные элементы и конструкции водопропускных железобетонных и бетонных труб, указан порядок их выбора при проектировании сооружений с примерами расчетов. Приведена последовательность проектирования.

Разработано с использованием типовых конструкций на основе действующих нормативных правовых актов (ТНПА).

Предназначено для студентов специальности 1-37 02 05 «Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство» дневной и заочной форм получения образования при изучении дисциплины «Искусственные сооружения транспортных коммуникаций», а также может быть использовано при выполнении расчетно-графических работ и расчетов дипломного проектирования.

УДК 624.196.012.45:625.1(075.8)
ББК 38.78

ISBN 978-985-554-981-0

© Левтринский В. В., Этин П. Ю., 2022
© Оформление. БелГУТ, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1 Конструирование водопропускной трубы	7
1.1 Определение размеров водопропускной трубы.....	7
1.2 Компоновка водопропускной трубы из типовых элементов. Выбор фунда- мента трубы и определение глубины его заложения.....	11
1.3 Определение уклона и строительного подъема водопропускной трубы.....	17
2 Статический расчет водопропускной трубы. Технология строительства	20
2.1 Определение расчетного вертикального давления на звенья трубы.....	20
2.2 Проверка достаточности ширины подошвы фундамента по прочности несущего слоя.....	24
2.3 Технология строительства водопропускной трубы. Определение объемов работ	25
2.4 Разработка рабочего чертежа конструкции водопропускной трубы.....	29
3 Организация строительства водопропускной трубы. План строительной площадки	30
3.1 Выбор машин и механизмов для сооружения водопропускной трубы.....	30
3.2 Разработка плана строительной площадки водопропускной трубы.....	33
Приложения	
А Исходные данные для проектирования водопропускной трубы.....	36
Б Глубина промерзания грунта.....	37
В Типовые элементы круглых водопропускных железобетонных труб.....	40
Г Типовые элементы прямоугольных водопропускных железобетонных труб...	43
Д Типовые элементы прямоугольных водопропускных бетонных труб.....	47
Е Типовые элементы фундаментов.....	51
Ж Нормативные значения прочностных и деформационных характеристик грунтов.....	53
И Пример оформления чертежа конструкции водопропускной трубы.....	вкл.
К Пример оформления чертежа плана строительной площадки.....	вкл.
Л Пример оформления календарного графика строительства водопропускной трубы.....	вкл.
М Укрупненные условные нормы трудозатрат при сооружении водопропускных труб.....	55
Список литературы	56

ВВЕДЕНИЕ

Водопропускные трубы – это искусственные сооружения, предназначенные для пропуска под насыпями дорог небольших постоянных или периодически действующих водотоков, ливневых и талых вод. В отдельных случаях трубы можно использовать в качестве пропуска коммуникаций, скотопрогонов и дорог.

Представляя из себя в большинстве случаев относительно небольшие и несложные сооружения, водопропускные трубы под насыпями железных дорог тем не менее из-за своей многочисленности и ответственности заслуживают самого строгого и серьезного подхода при решении всех вопросов проектирования, строительства и эксплуатации.

Первоочередными задачами проектирования водопропускных труб следует считать выполнение требований надежности пропуска высокоскоростных пассажирских поездов и комфортного проезда пассажиров. При выборе вариантов конструктивных решений следует отдавать предпочтение тем, в которых эти требования обеспечены наиболее полно.

Водопропускные трубы можно располагать при любых сочетаниях плана и профиля железных дорог. Водопропускные трубы 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 равных размерах пропускная способность их выше.

Основой для проектирования труб под железные дороги служат типовые проекты, в соответствии с которыми применяют конструкции из железобетона, бетона и стали, полимерных и других материалов. Ведутся исследования по строительству труб из композиционных материалов.

Труба состоит из средней части, входного и выходного оголовков. Средняя часть (собственно труба) обычно разделена на звенья, установленные на фундамент, объединяющий их в секции. Между секциями устраивают сквозные деформационные швы для предотвращения трещин или других повреждений трубы от воздействия неравномерной осадки.

Нижнюю часть отверстия, или дно трубы, оформляют в виде лотка, которому придают продольный уклон с учетом уклона лога на месте устройства трубы. Продольный уклон трубы ($i_{тр}$) обеспечивают путем ступенчатого расположения ее секций.

Фундамент трубы служит для опирания всех конструктивных элементов трубы и передачи от них усилий и воздействий на грунты основания. Его сооружают из сборного и монолитного бетона или железобетона.

При недостаточной несущей способности грунтов основания заменяют слой слабого грунта песчано-гравийной смесью или сооружают свайный фундамент.

С целью регулирования водного потока, обеспечения плавности его протекания и предотвращения продольных смещений элементов трубы при оползаниях откосов насыпи входные и выходные участки труб оборудуются оголовками: порталными, раструбными, обтекаемыми и воротниковыми.

Глубина заложения фундамента по длине трубы обычно неодинаковая. Под оголовками ее принимают с учетом глубины промерзания и возможности подмыва водой. Заложение фундамента средней части назначают независимо от глубины промерзания, с учетом гидрогеологических условий района строительства.

Укрепление русла водотока у входа в трубу и выхода из нее, а также откосов насыпи – обязательный и важнейший конструктивный элемент водопропускной трубы. Отсутствие его или некачественное устройство и содержание приводит к недопустимым размывам русел и насыпи у оголовков. Особенно вероятен размыв у выхода из трубы, где скорость течения водотока больше. Здесь мощение делают усиленным, а поперек оси водотока устраивают углубление, снижая скорость потока воды.

По форме поперечного сечения трубы могут быть круглыми, прямоугольными, овоидальными и арочными, а по количеству отверстий в одном сооружении – одно-, двух- и многоочковыми. Очертание и форму поперечного сечения труб принимают на основании гидравлического расчета с безнапорным, полунапорным или напорным режимами протекания потока с такой скоростью, которая бы не размывала насыпь перед трубой и на выходе за ней.

Наиболее часто применяют круглые и прямоугольные железобетонные трубы и бетонные трубы из элементов заводского изготовления.

Общие указания к расчетно-графическим работам. Согласно учебному плану студенты IV курса строительного факультета специализации 1-37 02 05 «Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство» по дисциплине «Искусственные сооружения транспортных коммуникаций» должны выполнить три расчетно-графических работы по проектированию водопропускной железобетонной (бетонной) трубы под насыпью железной дороги.

Цель работ: детальное изучение элементов и конструкций водопропускных труб; развитие творческого инженерного мышления.

В результате выполнения работ у студентов должны сформироваться навыки в работе с типовой проектной документацией, нормативной базой, справочниками и другой технической литературой. Каждый студент должен чувствовать ответственность за принимаемые проектные решения и правильно их обосновывать.

Оформление расчетно-графических работ.

Расчетно-графическая работа № 1 состоит из 7–9 листов пояснительной записки и чертежей, выполненных на отдельных листах миллиметровой бумаги формата А4:

- схема расположения фундаментных элементов водопропускной трубы;
- график для расчета осадки фундамента трубы.

Расчетно-графическая работа № 2 состоит из 7–9 листов пояснительной записки и схемы к определению расчетного вертикального давления на звенья водопропускной трубы, расположенной на отдельном листе миллиметровой бумаги формата А4. В работе выполняется чертеж конструкции водопропускной трубы с основными конструктивными разрезами на листе бумаги формата А1.

Расчетно-графическая работа № 3 состоит из 8–10 листов пояснительной записки, плана строительной площадки и графика производства работ по постройке трубы, выполненных на листах миллиметровой бумаги формата А3. В работе выполняется чертеж конструкции водопропускной трубы с основными конструктивными разрезами на листе бумаги формата А3.

Текстовый материал работ должен быть написан темными чернилами на одной стороне листов белой писчей бумаги формата А4 со штампом. Каждая страница должна иметь поля шириной: слева – 25 мм, справа и сверху – по 20 мм и снизу – 10 мм.

Чертежи следует выполнять на отдельных листах миллиметровой бумаги формата А3 или А4. Расчетные схемы надо размещать по тексту.

Страницы работ должны быть пронумерованы.

При оформлении формулы следует выделять из текста в отдельную строку. Пояснение значений символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, необходимо приводить непосредственно под формулой в той же последовательности, в какой они даны в формуле. Значение каждого символа и числового коэффициента следует давать с новой строки.

Первой страницей каждой работы являются исходные данные на расчетно-графическую работу, в конце следует привести перечень использованной литературы.

1 КОНСТРУИРОВАНИЕ ВОДОПРОПУСКНОЙ ТРУБЫ

1.1 Определение размеров водопропускной трубы

В современной практике используются следующие конструктивные разновидности труб:

- круглые железобетонные (КЖБТ) с отверстием диаметром 1,0; 1,2; 1,4 и 1,6 м с расположением отверстий от 1 до 3 рядов;
- прямоугольные железобетонные (ПЖБТ) с отверстием 1,0; 1,25; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 и 4,0 м с расположением отверстий от 1 до 2 рядов;
- прямоугольные бетонные с плоским железобетонным перекрытием и отверстиями 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 и 6,0 м с расположением в 1 и 2 ряда;
- круглые металлические гофрированные диаметром 1,5; 2,0 и 3,0 м с расположением отверстий от 1 до 4 рядов.

В данном пособии рассмотрены принципы проектирования круглых и прямоугольных железобетонных труб, бетонных труб.

В соответствии с исходными данными имеем:

- область, пункт проектирования;
- высота насыпи H , м;
- расчетный расход воды $Q_{\text{рас}}$, м³/с;
- категория железной дороги;
- отметка бровки земляного полотна ∇ БП;
- тип трубы.

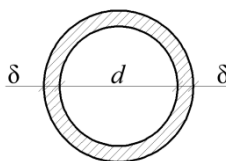
Размер отверстия водопропускной трубы назначается в зависимости от величины расчетного расхода воды $Q_{\text{рас}}$ и максимально пропускаемого расхода воды Q_{max} в трубе из условия обеспечения водопропускной способности ($Q_{\text{max}} > Q_{\text{рас}}$).

Максимальный расход воды представлен в таблицах 1.1–1.3, а их поперечные разрезы – на рисунках 1.1–1.3.

Т а б л и ц а 1.1 – Максимальный расход воды круглых железобетонных труб в зависимости от отверстия трубы

d , м	1,0	1,25	1,5	2,0
Q_{max} , м ³ /с	1,65	2,07	4,7	7,2

Рисунок 1.1 – Поперечный разрез круглой железобетонной трубы



Т а б л и ц а 1.2 – **Максимальный расход воды прямоугольных железобетонных труб в зависимости от отверстия трубы**

$b \times h$, м	1,0×1,5	1,25×1,5	1,5×2,0	2,0×2,0	2,5×2,0	3,0×2,5
Q_{\max} , м ³ /с	3,10	4,0	7,4	8,30	9,25	13,38

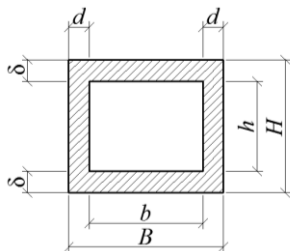
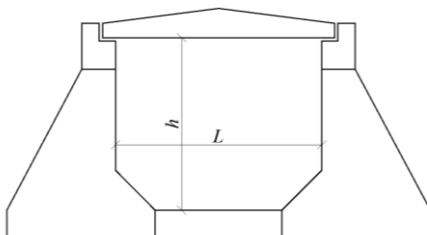


Рисунок 1.2 – Поперечный разрез прямоугольной железобетонной трубы

Т а б л и ц а 1.3 – **Максимальный расход воды для бетонных труб в зависимости от отверстия трубы**

$L \times h$, м	1,5×2,0	2,0×2,0	3,0×2,0	2,0×3,0
Q_{\max} , м ³ /с	5,95	8,27	11,9	12,72

Рисунок 1.3 – Поперечный разрез прямоугольной бетонной трубы



Если расчетный расход воды $Q_{\text{рас}}$ превышает допустимые значения максимально пропускаемого расхода воды Q_{\max} , то принимают двух- или трехочковые трубы (трехочковые для круглых труб) с одинаковыми размерами отверстий. Для этого расчетный расход воды $Q_{\text{рас}}$ делят на условное число отверстий и выбирают размер трубы для одного отверстия, для остальных он принимается такой же. Значение максимального расхода воды Q_{\max} принимается как суммарное для отверстий.

При определении длины трубы следует учитывать ширину земляного полотна, высоту насыпи, крутизну откосов и высоту отверстия трубы (рисунок 1.4). Первоначально определяют расчетную длину трубы по формулам, а затем уточняют с учетом длины звеньев и оголовков.

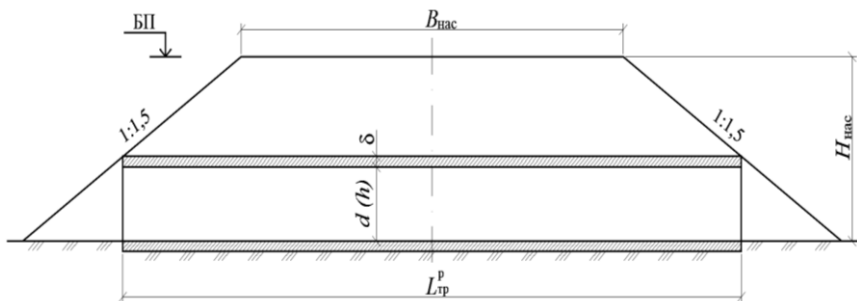


Рисунок 1.4 – Расчетная схема для определения длины водопропускной трубы

Примечание – Для прямоугольной водопропускной трубы $d = h$.

Расчетная длина трубы определяется по формуле

$$L_{тр}^p = B_{нас} + 2m(H_{нас} - h - \delta), \quad (1.1)$$

где $B_{нас}$ – ширина земляного полотна, м, принимаемая по [4] в зависимости от категории дороги (таблица 1.4);

m – коэффициент заложения откоса;

$H_{нас}$ – высота насыпи;

h – высота отверстия трубы, м;

δ – толщина стенки трубы (таблицы В.1, В.2, Г.1, Д.3), м.

Т а б л и ц а 1.4 – Размеры ширины основной площадки земляного полотна на прямых участках железнодорожного пути

Наименование параметра поперечного профиля	Категория дороги		
	II	III	IV
Ширина земляного полотна	7,6	7,3	7,1

Длину трубы определяют по формуле

$$L_{тр} = n_c l_c + n_{шв} h_{шв}, \quad (1.2)$$

где n_c – количество секций в трубе;

l_c – длина секций, м;

$n_{шв}$ – количество деформационных омоноличиваемых швов;

$h_{шв}$ – толщина деформационного омоноличиваемого шва, равная 0,03 м.

$$L_{тр} \geq L_{тр}^p. \quad (1.3)$$

Примечание – В круглой водопропускной трубе учитывается толщина портальной стенки. Крайние звенья заменяются на конические (см. таблицу В.2).

Пример расчета

1 Выбор размера сечения железобетонной водопропускной трубы.

Задана прямоугольная железобетонная водопропускная труба, расчетный расход воды $Q_{\text{рас}} = 10,6 \text{ м}^3/\text{с}$. Категория дороги – III, высота насыпи $H_{\text{нас}} = 4,5 \text{ м}$, пункт проектирования – Жлобин.

По таблице 1.2 назначаем размер отверстия водопропускной трубы $3,0 \times 2,5 \text{ (h)}$ м. При этом выполняется условие $Q_{\text{max}} > Q_{\text{рас}}$ ($13,38 > 10,6 \text{ м}^3/\text{с}$).

Используя номенклатуру, принимаем марку типовых звеньев ЗП 16.100-F (таблица Г.1). Поперечное сечение выбранного типового звена водопропускной трубы представлено на рисунке 1.5.

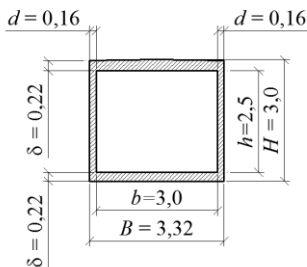


Рисунок 1.5 – Поперечное сечение типового звена водопропускной трубы ЗП 16.100-F

2 Определение расчетной длины водопропускной трубы.

Схема для определения расчетной длины трубы представлена на рисунке 1.4.

При $B_{\text{нас}} = 7,3 \text{ м}$, $t = 1,5 \text{ м}$, $H_{\text{нас}} = 4,5 \text{ м}$, $h = 2,5 \text{ м}$, $\delta = 0,22 \text{ м}$ по формуле (1.1).

$$L_{\text{тр}}^p = 7,3 + 2 \cdot 1,5 \cdot (4,5 - 2,5 - 0,22) = 12,64 \text{ м}.$$

3 Определение длины водопропускной трубы.

Принимаем длину звена железобетонной прямоугольной трубы 1,0 м, назначаем количество секций в трубе 4 (рисунок 1.6).

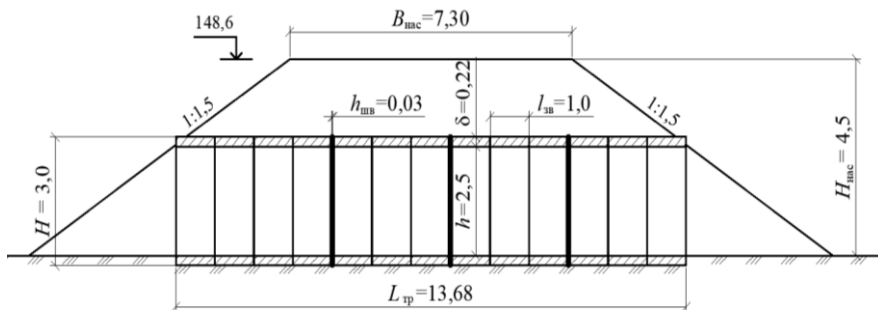


Рисунок 1.6 – Схема для определения фактической длины водопропускной трубы

Таким образом, при $n_c = 4$ шт., $l_{зв} = 1,0$ м, $n_{шв} = 3$ шт., $h_{шв} = 0,03$ м по формуле (1.2)

$$L_{тр} = 3,02 \cdot 3 + 4,03 \cdot 1 + 3 \cdot 0,03 = 13,68 \text{ м.}$$

13,68 > 12,64 – условие выполняется.

1.2 Компоновка водопропускной трубы из типовых элементов. Выбор фундамента трубы и определение глубины его заложения

Конструкции современных элементов труб запроектированы сборными заводского изготовления (рисунки 1.7–1.9).

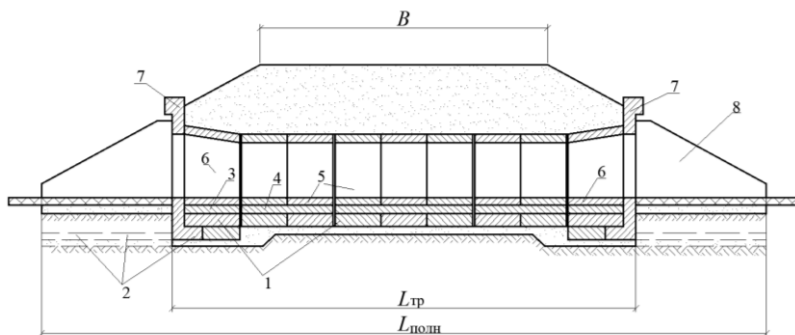


Рисунок 1.7 – Схема круглой железобетонной водопропускной трубы:
1 – фундаментные блоки; 2 – фундаментные плиты; 3 – лекальные блоки конических звеньев;
4 – лекальные блоки тела трубы; 5 – цилиндрические звенья; 6 – конические звенья;
7 – порталные стенки оголовков; 8 – откосные крылья

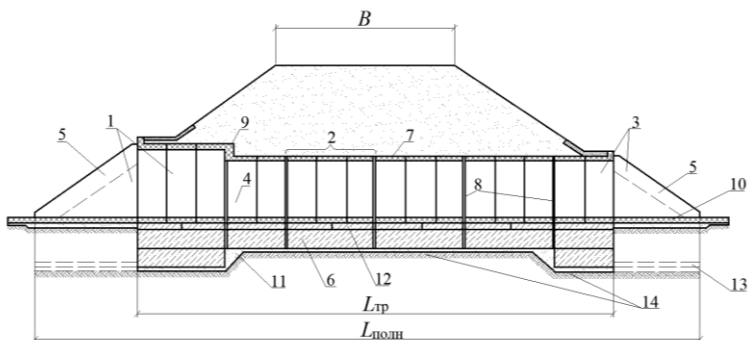


Рисунок 1.8 – Схема прямоугольной железобетонной водопропускной трубы:
1 – входной оголовок трубы; 2 – секция трубы; 3 – выходной оголовок трубы; 4 – звено трубы;
5 – откосная стенка; 6 – фундаментные блоки; 7 – гидроизоляция; 8 – деформационный шов;
9 – переходной блок (при повышенном входном оголовке); 10 – укрепление русла (монолитный бетон);
11 – выравнивающий слой (гравийно-песчаная подушка); 12 – фундаментная плита;
13 – фундамент под откосную стенку; 14 – щебень или гравий

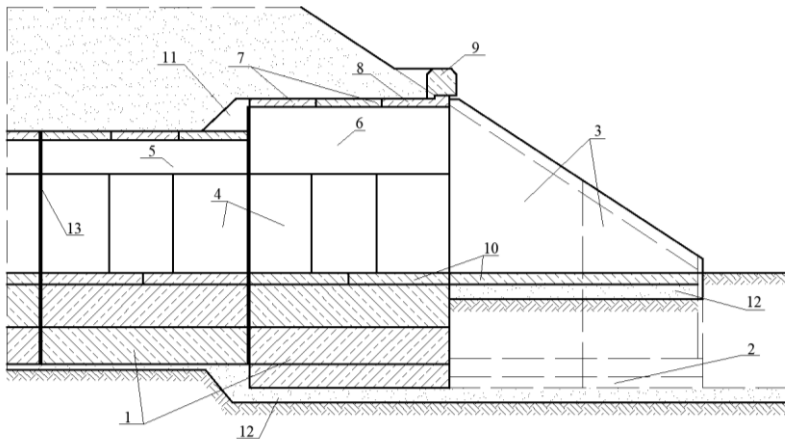


Рисунок 1.9 – Оголовок прямоугольной бетонной трубы с повышенным звеном:
 1 – фундамент секций трубы из сборного бетона; 2 – фундамент из сборного бетона под стенки откосные; 3 – стенки откосные; 4 – блоки стеновые (стенки); 5 – насадка секции;
 6 – насадка входного оголовка (повышенное звено); 7 – плиты перекрытия;
 8 – плита перекрытия оголовочная; 9 – кордон; 10 – монолитный бетон лотка;
 11 – монолитный бетон закладной части; 12 – песчано-гравийная (щебеночная) подготовка;
 13 – деформационный шов

При входе и выходе воды из трубы устраивают оголовки, которые плавно вводят поток в трубу и выводят его, снижают сопротивление движению воды и повышают пропускную способность трубы, а также уменьшают опасность размыва насыпи и русла. Конструкция оголовков круглых железобетонных труб состоит из порталной стенки и двух откосных крыльев, заглубленных в грунт и установленных на щебеночную подготовку. Размеры порталной стенки определяются из условий диаметра внутреннего отверстия труб, обеспечения надежного опирания на грунт и противодействия сдвигу. В прямоугольных железобетонных и бетонных трубах оголовки состоят из повышенных звеньев и откосных крыльев. Полная длина водопропускной трубы с учетом длины откосных крыльев на рисунках 1.7 и 1.8 обозначается как $L_{\text{полн}}$.

Оголовки и звенья устраиваются на фундаментах. Размещение фундаментных плит и блоков в пределах секции проектируют с перекрытием швов в каждом ряду. Из-за большего промерзания грунта в начале трубы, чем в ее середине, а также для предотвращения подмывов под оголовками фундаменты делают более глубокого заложения, чем под остальной частью трубы. Размеры крыльев остаются постоянными при любой глубине промерзания, изменяется лишь толщина фундамента в их основании. Дно трубы выполняют в виде лотка, имеющего продольный уклон.

Для предотвращения просачивания воды из трубы в насыпь на поверхность трубы, соприкасающейся с грунтом насыпи, наносят специальную гидроизоляцию, а швы заделывают раствором.

В трубах звенья соединяются в секции. Каждая секция состоит из 3–4 звеньев (рисунок 1.10). Между звеньями предусмотрены омоноличиваемые швы толщиной 1 см. Между секциями, для предотвращения излома трубы от неравномерной осадки, устраивают деформационные швы толщиной 3 см. Выбор типовых конструктивных элементов трубы производят по номенклатуре (приложения В–Д). Назначают геометрические размеры звеньев, порталных стенок, откосных крыльев

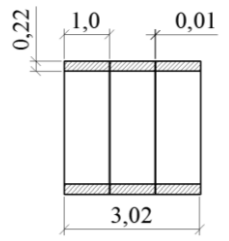


Рисунок 1.10 – Общий вид секции прямоугольной трубы

(для бетонных труб – стеновых блоков, насадок и плит перекрытий).

Параметры выбранных типовых конструкций элементов трубы необходимо свести в таблицу 1.5.

Т а б л и ц а 1.5 – Элементы прямоугольной водопропускной трубы

Элемент трубы	Марка изделия	Объем бетона, м ³	Масса изделия, т	Количество
Звенья средней части				
Звенья оголовка				
Откосная стенка				

Пример расчета

1 Выбор входных и выходных оголовков (рисунок 1.11).

Марка звеньев трубы входного и выходного оголовка: ЗП 37 сб. (Блок № 106) ($B = 3,32$ м, $H = 3,34$ м, $L = 1,00$ м, $V = 3,00$ м³, $m = 7,5$ т).

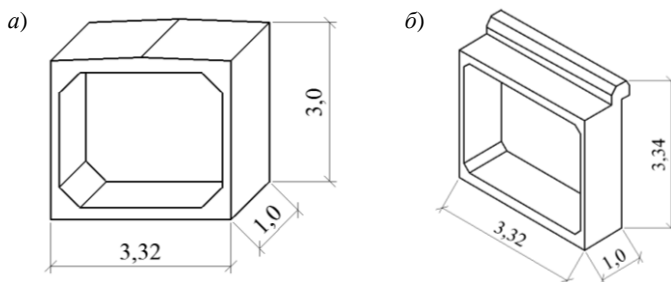


Рисунок 1.11 – Элементы водопропускной трубы:

a – звено трубы марки ЗП 16.100;

б – звено трубы входного и выходного оголовка марки ЗП 37

2 Выбор откосных стенок.

Исходя из геометрических размеров труб входного и выходного оголовков ($a \times b = 3,32 \times 3,34$) по номенклатуре, подбираются откосные крылья (рисунок 1.12).

Марка откосных крыльев: СТ-1 ($H = 3,61$ м, $L = 1,89$ м, $V = 1,52$ м³, $m = 3,8$ т); СТ-3 ($H = 1,75$ м, $L = 2,79$ м, $V = 1,13$ м³, $m = 2,8$ т).

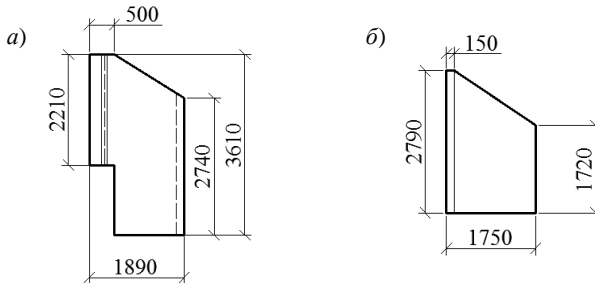


Рисунок 1.12 – Откосные крылья для труб входного и выходного оголовков:
а – марки СТ-1; б – марки СТ-3

Тип фундамента выбирается при проектировании в зависимости от местных инженерно-геологических условий, уровня грунтовых вод, гидрологического режима работы сооружения, наличия материалов.

Для средней части труб разработаны три типа фундаментов:

1) *гравийно-песчаная подушка*. Звенья труб опираются на спрофилированную подушку толщиной 0,3 м из щебеночно-песчаной или гравийно-песчаной смеси, которая укладывается на тщательно уплотненный естественный грунт. Данный вид фундамента применяется только для труб, работающих в безнапорном режиме протекания воды;

2) *сборно-монолитный железобетонный фундамент* из железобетонных блоков, устанавливаемый на спланированный уплотненный естественный грунт по щебеночной подготовке толщиной 10 см;

3) *бетонный фундамент*, устраиваемый в виде секции.

В расчетно-графической работе фундамент под водопропускную трубу устраивается сборным из типовых элементов (приложение Е).

В круглой водопропускной трубе звенья опираются на локальные блоки фундамента, которые, в свою очередь, опираются на фундаментные блоки.

В прямоугольной водопропускной трубе звенья опираются на фундаментные плиты, которые, в свою очередь, опираются на фундаментные блоки (рисунок 1.13). В бетонных трубах опирание на 2 ряда фундаментных блоков.

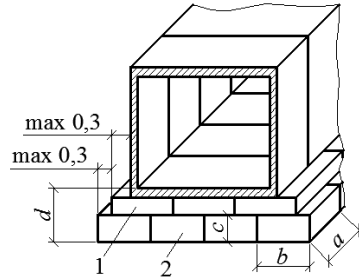
Глубину заложения фундаментов под звенья труб следует принимать на 0,25 м ниже расчетной глубины промерзания грунта с учетом уменьшения ее в направлении к продольной оси насыпи.

Минимальную глубину заложения фундамента рассчитывают по формуле

$$d_{\min} = d_{fn} + 0,25, \quad (1.4)$$

где d_{fn} – глубина промерзания грунта (принимается по приложению Б как средняя из максимальных за год).

Рисунок 1.13 – Фрагмент фундамента под прямоугольную водопропускную трубу:
1 – фундаментные плиты; 2 – фундаментные блоки



Глубина заложения фундамента круглой трубы

$$d = \frac{H_{лб}}{2} + b_{бл} + \delta, \quad (1.5)$$

где $H_{лб}$ – высота лекального блока, м;

$b_{бл}$ – толщина фундаментного блока, м;

δ – толщина стенки звена водопропускной трубы, м.

Глубина заложения фундамента прямоугольной трубы

$$d = b_{пл} + b_{бл} + \delta, \quad (1.6)$$

где $b_{пл}$ – толщина фундаментной плиты, м (в бетонных трубах – $b_{бл}$);

$b_{бл}$ – толщина фундаментного блока, м;

δ – толщина ригеля звена водопропускной трубы, м.

Компоновка элементов фундамента выполняется на одну секцию. На остальные секции трубы фундамент принимается аналогичным подобранному.

При компоновке элементов фундамента необходимо учитывать следующие требования:

- фундаментные плиты по ширине трубы могут выступать за пределы звена не более чем на 30 см с каждой стороны (см. рисунок 1.13);

- фундаментные блоки могут выступать за пределы фундаментных плит не более чем на 30 см с каждой стороны (см. рисунок 1.13);

- если для некоторых секций или звеньев невозможно выполнить компоновку элементов фундамента в соответствии с требованиями, то необходимо устраивать монолитные участки.

Если после компоновки элементов фундамента глубина заложения фундамента меньше, чем минимальная глубина заложения $d < d_{\min}$, то необхо-

димом увеличивать высоту фундамента путем устройства одного ряда фундаментных блоков, с учетом уменьшения высоты фундамента в направлении к продольной оси насыпи (параметры фундаментных блоков также удобно оформить в виде таблицы 1.5).

Пример расчета (для секции из трех звеньев)

Учитывая ширину звена $B = 3,32$ м по номенклатуре (см. приложение Е), подбираем на звено трубы фундаментные плиты Ф1 размерами $150 \times 125 \times 20$ см и фундаментные блоки Ф 6.302 размерами $302 \times 132 \times 70$ см (рисунки 1.14, 1.15).

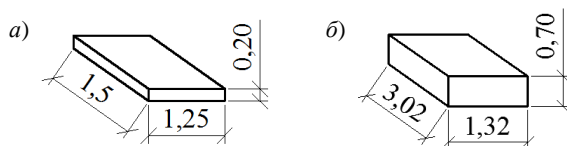


Рисунок 1.14 – Общий вид фундаментных плит (а) и блоков (б)

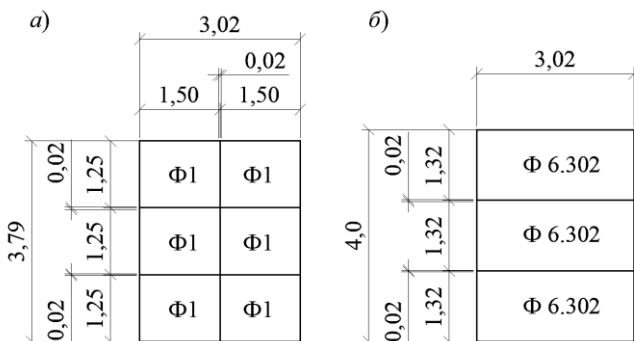


Рисунок 1.15 – Схемы компоновки фундаментных плит (а) и блоков (б) водопропускной трубы

Укладываем фундаментные плиты и блоки в центральной части трубы, в один ряд каждый.

Для Жлобина $d_{жл} = 0,75$ м (приложение Б), тогда по формуле (1.4)

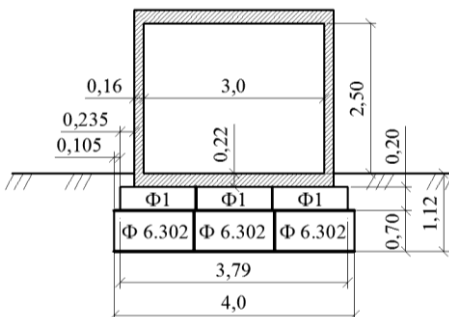
$$d_{\min} = 0,75 + 0,25 = 1,0 \text{ м.}$$

При $b_{пл} = 0,2$ м; $b_{бл} = 0,7$ м по формуле (1.6)

$$d = 0,2 + 0,7 + 0,22 = 1,0 \text{ м.}$$

Условие $d > d_{\min}$ выполняется, фундамент подобран верно. Поперечный разрез водопропускной трубы с элементами фундамента представлен на рисунке 1.16.

Рисунок 1.16 – Поперечный разрез водопропускной трубы с элементами фундамента



1.3 Определение уклона и строительного подъема водопропускной трубы

При сооружении трубы на сжимаемом нескальном естественном основании вопрос о ее уклоне окончательно решается только после определения осадок и строительного подъема, создаваемого для частичной компенсации осадок.

Взаимосвязь между уклоном трубы i_t , осадкой трубы S относительно ее концов и строительным подъемом Δ в середине трубы устанавливается на основе следующих предпосылок:

1 До засыпки трубы допустимо возвышение ее середины над входом на половину величины ожидаемой осадки в расчете на то, что вскоре после полной отсыпки насыпи над трубой указанное превышение исчезнет и труба к моменту начала эксплуатации не будет иметь обратного уклона на входе.

2 После завершения осадок труба может приобрести вогнутый профиль, однако ни в одном ее сечении при этом не должно быть обратного уклона.

Условия 1 и 2 приводят к тому, что профиль лотка трубы до и после протекания осадок должен быть ограничен соответственно двумя предельными кривыми 1 и 2, представленными на рисунке 1.17.

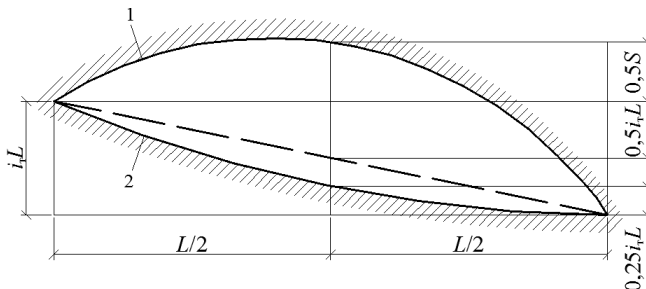


Рисунок 1.17 – Схема к определению допустимого строительного подъема и уклона трубы

Очертание кривой 2 можно принять по окружности или квадратной параболе с горизонтальной касательной на низовом конце. Ордината кривой 2 в середине трубы при этом будет равна $0,25i_T L_{тр}$.

Условие 1 записывается в виде

$$\Delta \leq 0,5i_T L_{тр} + 0,5S. \quad (1.7)$$

Из условия 2 следует

$$S - \Delta \geq 0,25i_T L_{тр}. \quad (1.8)$$

Совместное решение неравенств (1.7) и (1.8) приводит к ограничению уклона трубы условием

$$i_T \geq \frac{S}{1,5L_{тр}}. \quad (1.9)$$

Для обоснованного решения всей совокупности вопросов об уклоне, строительном подъеме и типе фундамента трубы рекомендуется во всех случаях выполнять расчет осадок основания трубы с назначением уклона ее лотка исходя из величины $i_{кр}$ с проверкой по условию (1.9), а строительный подъем назначить согласно формуле (1.7) после окончательного уточнения уклона.

Методика расчета осадок основания трубы под действием веса насыпи построена на принципе послойного суммирования деформаций обжатия грунта в пределах сжимаемой толщи. Верхняя граница сжимаемой толщи под насыпью высотой H_n проходит по подошве фундамента, нижняя граница располагается на глубине H_a , определяемой:

1) при отсутствии грунтовых вод – по формуле

$$H_a = 3 + 1,4H_n; \quad (1.10)$$

2) при наличии грунтовых вод – по формуле

$$H_a = 4 + 1,8H_n. \quad (1.11)$$

В последнем случае сжимаемая весом насыпи толщина оказывается больше, поскольку в бытовом состоянии грунты основания взвешены в воде и потому меньше обжаты собственным весом.

Осадка основания трубы

$$S = k\gamma H_n B \sum_{i=1}^n \frac{k_{si}^H - k_{si}^B}{1000E_i}, \quad (1.12)$$

где k – коэффициент формы сечения насыпи;

γ – объемный вес грунта насыпи, $\gamma = 1,8$ кН/м³;

k_{si}^H, k_{si}^B – безразмерные коэффициенты, определяемые по графику (рисунок 1.18), соответственно для нижней и верхней границы расчетного i -го слоя в пределах сжимаемой толщи;

E_i – модуль деформации грунта i -го слоя, МПа (приложение Ж).

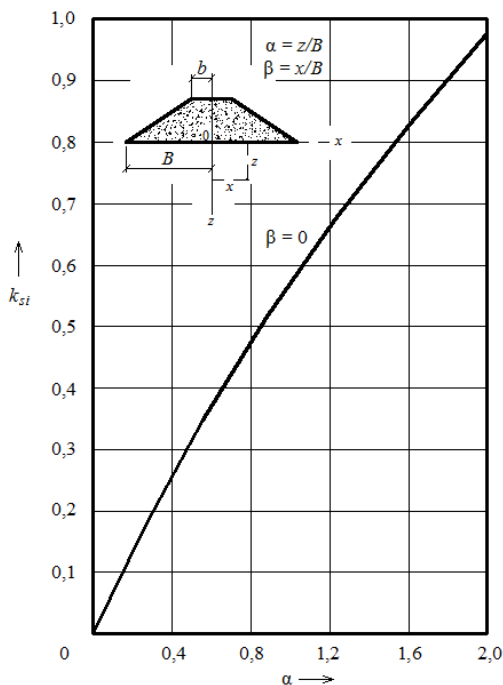


Рисунок 1.18 – График для расчета осадок фундаментов труб

Коэффициент формы сечения насыпи определяется по формуле

$$k = 0,75 \left(1 + \frac{b}{B} \right), \quad (1.13)$$

где b – полуширина насыпи поверху, м;

B – полуширина насыпи понизу, м.

Расчет удобно вести в табличной форме (таблица 1.6).

Т а б л и ц а 1.6 – Расчет осадки основания трубы

№ слоя	Грунт	E_{i_s} МПа	$\frac{z_i^n}{z_i}$	$\frac{\alpha_i^n}{\alpha_i}$	$\frac{k_{si}^n}{k_{si}}$	$k_{si}^n - k_{si}$	$\frac{k_{si}^n - k_{si}}{1000 E_{i_s}}$
1							
2							
3							
...							
n							
Σ							

По результатам проверки устойчивости насыпи могут быть назначены меры стабилизации в виде уположения откосов, устройства берм, замены грунтов в основании насыпи, которые существенно отражаются на проектируемой трубе, в том числе и на осадках основания со всеми вытекающими из них последствиями.

2 СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОДОПРОПУСКНОЙ ТРУБЫ. ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

2.1 Определение расчетного вертикального давления на звенья трубы

Согласно [1] параметры фундамента мелкого заложения устанавливаются расчетами по первой группе предельных состояний на основе сочетания расчетных (постоянных и временных) нагрузок.

К постоянным нагрузкам относятся давление от веса насыпи, собственный вес конструкции трубы и гидростатическое давление, к временным – давление от подвижной нагрузки.

Нормативное вертикальное давление грунта от веса насыпи на звенья трубы

$$p_v = C_v \gamma_n h_n, \quad (2.1)$$

где C_v – коэффициент вертикального давления грунта;

γ_n – удельный вес грунта засыпки, $\gamma_n = 17,7 \text{ кН/м}^3$;

h_n – высота засыпки, считая от отметки подошвы рельса (∇ ПР) до верха звена (см. рисунок 2.1), м. Отметка ∇ ПР размещается на 0,9 м выше отметки бровки полотна.

Коэффициент вертикального давления грунта

$$C_v = 1 + B_0 \left(2 - B_0 \frac{d}{h_n} \right) \tau_n \operatorname{tg} \varphi_n, \quad (2.2)$$

где B_0 – коэффициент, принимаемый по формуле

$$B_0 = \frac{3}{\tau_n \operatorname{tg} \varphi_n} \cdot \frac{S a}{h_n}, \quad (2.3)$$

где φ_n – нормативный угол внутреннего трения грунта засыпки трубы, $\varphi_n = 30^\circ$;
 d – диаметр (ширина) звена водопропускной трубы по внешнему контуру, м;

S – коэффициент для фундаментов на естественном грунтовом основании, принимаемый 1,0;

a – расстояние от основания насыпи до верха звена трубы, м;

τ_n – коэффициент нормативного бокового давления грунта для звеньев трубы (при типовом проектировании $\tau_n \approx 0,333$).

Если $B_0 > h_n/d$, то следует принимать $B_0 = h_n/d$.

Коэффициент нормативного бокового давления грунта для звеньев трубы определяется по формуле

$$\tau_n = \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_n}{2} \right). \quad (2.4)$$

Схемы к определению расчетного вертикального давления на звенья трубы от постоянных нагрузок приведены на рисунке 2.1.

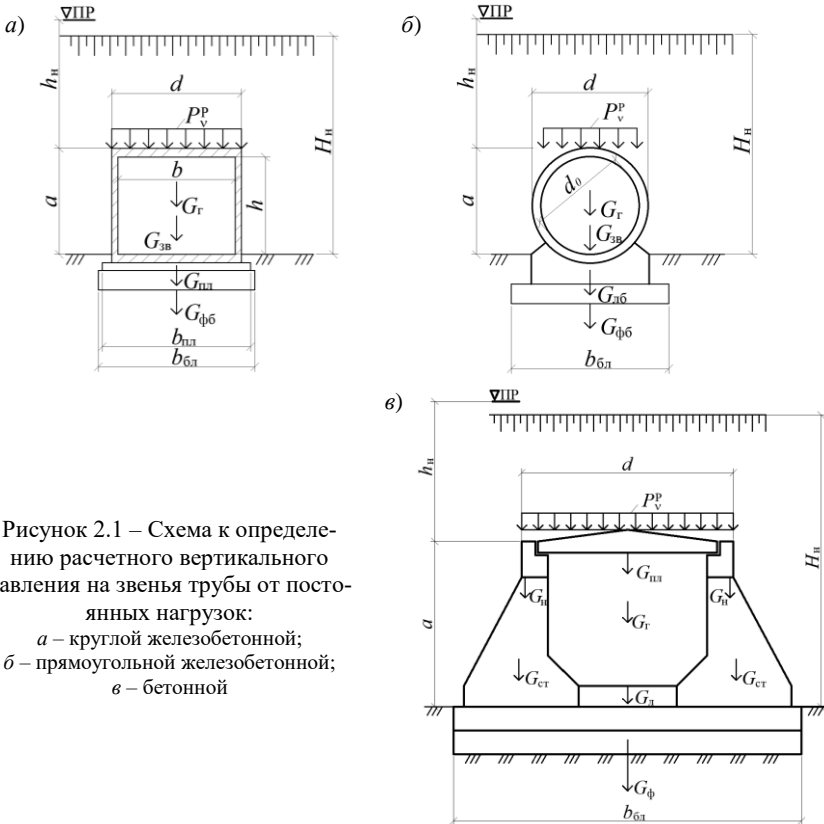


Рисунок 2.1 – Схема к определению расчетного вертикального давления на звенья трубы от постоянных нагрузок:

- a – круглой железобетонной;
- b – прямоугольной железобетонной;
- $в$ – бетонной

Расчетное вертикальное давление грунта на звенья трубы определяется по формуле

$$P_v^p = \gamma_f p_v, \quad (2.5)$$

где γ_f – коэффициент надежности по нагрузке, $\gamma_f = 1,1$;
 p_v – нормативное вертикальное давление, кПа.

Нагрузка от веса одного метра длины звена трубы

$$G_{зв} = V_{зв} \gamma_b \gamma_f, \quad (2.6)$$

где $V_{зв}$ – объем 1 м звена, м^3 (см. приложения В, Г). Для прямоугольной бетонной трубы объем 1 м стеновых блоков, насадок, плиты перекрытия (см. приложение Д);

γ_b – удельный вес железобетона (24 кН/м^3);

γ_f – коэффициент надежности по нагрузке ($\gamma_f = 1,1$).

В расчетах **нагрузки от фундамента водопропускной трубы** рассматривается полная ширина подошвы фундамента (b). Нагрузка определяется в зависимости от типа водопропускной трубы.

Для круглой водопропускной трубы.

Нагрузка от одного метра длины лекального блока фундамента для КЖБТ определяется по формуле

$$G_{лб} = V_{лб} \gamma_b \gamma_f, \quad (2.7)$$

где $V_{лб}$ – объем одного погонного метра лекального блока (таблица Е.3), м^3 .

Нагрузка от одного метра длины блоков фундамента определяется по формуле

$$G_{фб} = V_{фб} \gamma_b \gamma_f, \quad (2.8)$$

где $V_{фб}$ – объем одного погонного метра фундаментного блока (таблица Е.2), м^3 .

Для прямоугольной водопропускной трубы.

Нагрузка от одного метра длины фундаментных плит определяется по формуле

$$G_{пл} = V_{пл} \gamma_b \gamma_f, \quad (2.9)$$

где $V_{пл}$ – объем одного погонного метра фундаментной плиты (таблица Е.1), м^3 .

Нагрузка от одного метра длины блоков фундамента для прямоугольной водопропускной трубы определяется по формуле (2.8). Для прямоугольной бетонной трубы учитывается и вес 1 пог. м бетонного лотка.

Погонная нагрузка от гидростатического давления

Для круглой водопропускной трубы

$$G_{г} = \frac{\pi d_0^2}{4} \gamma_w \gamma_f, \quad (2.10)$$

где d_0 – внутренний диаметр звена водопропускной трубы, м;

γ_w – удельный вес воды, $\gamma_w = 9,81 \text{ кН/м}^3$.

Для прямоугольной трубы

$$G_{г} = b h \gamma_w \gamma_f, \quad (2.11)$$

где b и h – размеры отверстия водопропускной трубы, м.

Расчетное вертикальное давление грунта от подвижного состава на звенья трубы вычисляется по формуле

$$p_{vq}^p = \gamma_f (1 + \mu) p_{vq}, \quad (2.12)$$

где p_{vq} – нормативное вертикальное давление на звенья трубы от подвижной нагрузки, кПа (рисунок 2.2);

γ_f – коэффициент надежности по нагрузке от подвижного состава, $\gamma_f = 1,3$;

$(1 + \mu)$ – динамический коэффициент к нагрузкам от подвижного состава железных дорог, для железобетонных и бетонных труб при расчете прочности по грунту для фундаментов всех видов $(1 + \mu) = 1,0$.

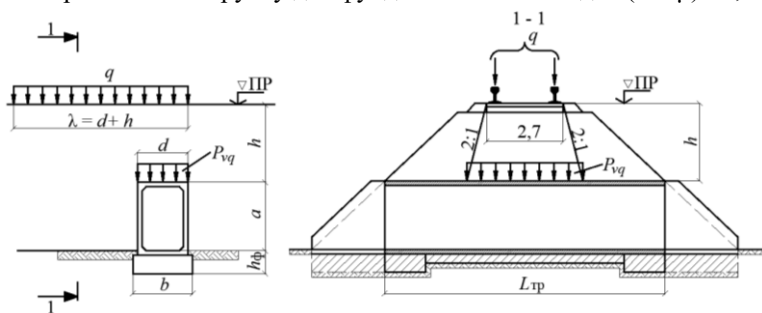


Рисунок 2.2 – Схема к определению расчетного вертикального давления на звенья трубы от временных нагрузок

Нормативное вертикальное давление на звенья трубы от подвижной нагрузки

$$p_{vq} = \frac{v}{2,7 + h}, \quad (2.13)$$

где v – интенсивность временной вертикальной нагрузки от подвижного состава железных дорог (таблица 2.1) для длины загрузки $\lambda = d + h$, положение вершины $\alpha = 0,5$, но не более 19,6К кН/м (показатель К означает класс устанавливаемой нагрузки, который принимают равным 14);

h – расстояние от отметки подошвы рельса (∇ ПР) до верха звена трубы.

Т а б л и ц а 2.1 – Интенсивность эквивалентной нагрузки v , кН/м, при характеристике формы линии влияния $\alpha = 0,5$ и длине загрузки λ , м

λ	v	λ	v	λ	v
1	686,5	7	230,7	18	186,0
1,5	479,5	8	224,4	20	180,8
2	374,2	9	218,9	25	186,9
3	296,0	10	214,0	30	160,5
4	265,8	12	205,5	35	153,2
5	249,5	14	198,3	40	147,2
6	238,8	16	191,8	45	142,2

2.2 Проверка достаточности ширины подошвы фундамента по прочности несущего слоя

Достаточность ширины подошвы фундамента b определяют исходя из обеспечения условия

$$p = \frac{P}{b} \leq \frac{R}{\gamma_n}, \quad (2.14)$$

где p – давление под подошвой фундамента, кПа;

P – расчетная вертикальная нагрузка, действующая на уровне подошвы фундамента, кН;

R – расчетное сопротивление грунта основания сжатию под подошвой фундамента, кПа;

γ_n – коэффициент надежности по назначению сооружения, принимаемый для фундамента труб равным 1,4.

Расчетная вертикальная нагрузка для круглой и прямоугольной труб определяется по формулам

$$P = (G_{зв} + G_{лб} + G_{фб} + G_r) + (P_v^p + p_{vq}^p) d; \quad (2.15)$$

$$P = (G_{зв} + G_{пл} + G_{фб} + G_r) + (P_v^p + p_{vq}^p) d; \quad (2.16)$$

$$P = (2G_{ст} + 2G_n + G_{пл} + G_l + G_{ф} + G_r) + (P_v^p + p_{vq}^p) d. \quad (2.17)$$

Расчетное сопротивление грунта основания сжатию под подошвой фундамента

$$R = 1,7 \{ R_0 [1 + k_1(b - 2)] + \gamma k_2(d' - 3) \}, \quad (2.18)$$

где R_0 – условное сопротивление грунта, кПа (приложение Ж);

k_1 и k_2 – коэффициенты, определяемые по таблице 2.2;

b – ширина подошвы фундамента, м;

γ – средний удельный вес слоев грунта, без учета взвешивающего действия воды принимается равным $19,62 \text{ кН/м}^3$;

d' – глубина заложения фундамента, в расчете принимается от середины высоты насыпи, м.

Т а б л и ц а 2.2 – Значения коэффициентов k_1 и k_2

Грунт	k_1	k_2
Гравий, галька, песок гравелистый, крупный и средний	0,10	3,0
Песок мелкий	0,08	2,5
Песок пылеватый, супесь	0,06	2,0
Суглинок и глина полутвердые и твердые	0,04	2,0
Суглинок и глина туго- и мягкопластичные	0,02	1,5

2.3 Технология строительства водопропускной трубы. Определение объемов работ

Работы по строительству водопропускной трубы разделяются на следующие этапы:

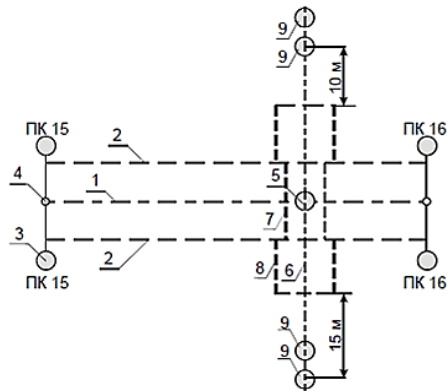
- 1) подготовительные работы;
- 2) разбивочные работы;
- 3) устройство котлована;
- 4) устройство щебеночной подготовки;
- 5) устройство фундамента трубы;
- 6) монтаж оголовков и звеньев трубы;
- 7) устройство гидроизоляции;
- 8) засыпка трубы и укрепительные работы.

Подготовительные работы. До начала устройства котлована под фундамент расчищают и планируют площадку для разгрузки элементов трубы, расчищают русло со стороны выходного оголовка и устраивают с нагорной стороны на расстоянии не менее 1,5 м от контура котлована водоотводные канавы для перехвата поверхностных вод, которые могут попасть в котлован. Если котлован трубы располагается вблизи от постоянно действующего водотока, то его отводят в сторону за пределы контура котлована. Котлован труб без креплений разрабатывают только в устойчивых сухих маловлажных грунтах.

Для завоза оборудования, бетонных блоков и материалов бульдозером расчищают и планируют подъездные дороги, обеспечивающие свободный проезд по кольцевой схеме движения.

Разбивочные работы. Положение трубы определяется проектом дороги. Промерами по оси трубы намечают контур котлована и обозначают его кольшками. Схема закрепления оси водопропускной трубы представлена на рисунке 2.3.

Рисунок 2.3 – Схема закрепления оси водопропускной трубы:
1 – ось дороги; 2 – граница полосы отвода дороги; 3 – выносные столбы, закрепляющие местоположение пикета за полосой отвода; 4 – деревянный кол, вбиваемый на ось в точке, соответствующей пикету; 5 – деревянный столб, служащий для фиксации точки пересечения осей трубы и дороги; 6 – продольная ось трубы; 7 – границы траншеи под фундамент звеньев трубы; 8 – границы котлованов под оголовки; 9 – деревянные столбы, служащие для фиксации оси трубы



На расстоянии 1 м от границ котлована устраивают обноску из досок или брусьев и обозначают на ней продольную ось трубы и положение оголовков, открылков, секций фундамента.

Обноска по возможности должна быть заглублена в землю для предохранения от повреждения бульдозером или экскаватором.

Устройство котлована. Размеры котлована в плане должны соответствовать размерам фундамента с запасом. Расстояние между вертикальной стенкой котлована и боковой поверхностью фундамента применяют не менее 0,5 м в каждую сторону. Котлован отрывают бульдозером продольными проходами от выходного оголовка с отсыпкой грунта за пределами входного оголовка. Дорабатывают котлован под оголовки и открылки экскаватором на пневмоколесном ходу.

При отрывке котлована грунт не добирают до проектной отметки на 10 см. Окончательно дорабатывают котлован до проектной отметки вручную под рейку с учетом продольного уклона и строительного подъема трубы.

Общий вид дна котлована после разработки грунта экскаватором представлен на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Общий вид дна котлована при разработке грунта экскаватором

Стенки котлована под оголовки делают пологими с крутизной откоса до 1:1. Грунтовые воды отводят в водосборные колодцы, расположенные за котлованом, откуда ее откачивают насосами.

Устройство щебеночной подготовки. По спланированному и защищенному дну котлована устраивают щебеночную подготовку толщиной 10 см под фундамент из лекальных блоков и под блоки оголовков.

Щебень, доставляемый автомобилями-самосвалами, разгружают непосредственно в котлован, разравнивают и уплотняют электротрамбовками (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Уплотнение щебеночной подготовки вибрационной плитой

По окончании работы производят инструментальную проверку отметок щебеночной подготовки и положение ее в плане и выполняют разбивку проектного положения блоков и звеньев.

Уклон поверхности щебеночной подготовки должен соответствовать проектному уклону с учетом заданного строительного подъема трубы.

Устройство фундамента труб. Фундаменты труб устраивают сборными из блоков. Уклон фундамента с учетом строительного подъема создают ступенчатым расположением секций. В пределах секций фундамент располагается горизонтально.

При установке фундаментных плит, фундаментных блоков и лекальных блоков их стропуют, удерживая от раскачивания. Блоки опускают на высоту 10–15 см от основания, точно наводят и опускают на щебеночную подготовку.

В процессе установки фундаментных плит, фундаментных блоков и лекальных блоков проверяют горизонтальность ряда (относительное смещение смежных блоков не должно превышать 10 мм) и уклон трубы по верху фундамента, а также длину секций (отклонения не должны превышать +15, –0 мм).

Монтаж оголовков и звеньев труб. При монтаже трубы необходимо выполнять следующие требования:

- выходной оголовок надо монтировать до начала установки промежуточных звеньев;
- при укладке цилиндрических звеньев труб необходимо следить, чтобы бетонная подушка обеспечивала под звеньями на установленном в проекте угле охвата плотный контакт с поверхностью звена на всей длине;
- следует устанавливать прямоугольные звенья труб на растворе.

Укладку надфундаментной части трубы начинают с установки открылков выходного оголовка с помощью автокрана с грузоподъемностью в зависимости от вылета стрелы и массы поднимаемого элемента (рисунок 2.6). Затем монтируют звенья трубы, и после их укладки устанавливают открылки выходного оголовка.

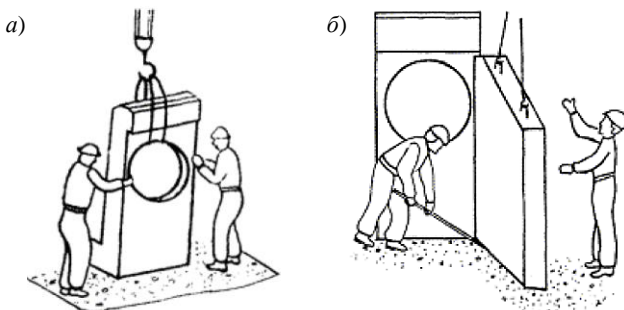


Рисунок 2.6 – Монтаж стенки:
а – порталной; б – откосной

На элементы, подлежащие монтажу, должны быть нанесены:

- номер и масса монтажной марки;
- центр тяжести элемента;
- места строповки;
- контрольные осевые и нивелировочные знаки.

Строповочные петли на соприкасающихся поверхностях (торцах) звеньев сборных железобетонных труб перед монтажом последующего блока должны быть срезаны заподлицо с поверхностью бетона; срубка петель зубилом или их загиб не допускаются.

Монтаж ведут в направлении от выходного оголовка к входному. После готовности подушки осуществляют установку откосных крыльев, сначала выходного, а затем и входного оголовков.

Устройство гидроизоляции, засыпка трубы и укрепительные работы. Для боковых стенок звеньев заводского изготовления, прошедших испытания на водонепроницаемость, допускается применение обмазочной гидроизоляции, состоящей из двух слоев горячей или холодной битумной мастики по битумной грунтовке (рисунок 2.7). Боковые стенки звеньев покрывают также оклеечной гидроизоляцией при неудовлетворительных результатах испытания бетона на водонепроницаемость.

Гидроизоляционные работы производят только в сухую погоду при температуре воздуха не ниже +5 °С. При температуре воздуха свыше 25 °С или в случае дождя место работы защищают от воздействия солнечных лучей и дождя тентом.

Сразу после окончания работ по гидроизоляции и составления акта приемки трубу засыпают грунтом на высоту 0,5 м над верхом трубы для сохранности конструкции трубы и изоляции. Грунт к трубе надвигают бульдозером, а затем экскаватором, оборудованным грейфером, грунт отсыпают горизонтальными слоями толщиной 15–20 см одновременно с обеих сторон трубы.

Каждый слой разравнивают лопатами и уплотняют электротрамбовками по обеим сторонам от трубы для создания плотного грунтового слоя вокруг звеньев.

Укрепление русла, конусов откосов насыпи у труб одиночным или двойным мощением применяют при наличии камня в районе строительства. При отсутствии камня, но наличии бетона, укрепление делают монолитными бетонными плитами. При отсутствии камня и бетона для укрепления применяют сборные бетонные или другие виды укрепления. Конусы откосов насыпи укрепляют после их осадки, сроки которой устанавливают проектом земляного полотна. В расчетно-графической работе при изложении технологии сооружения трубы необходимо рассчитать и указать объемы выполняемых работ (размеры строительной площадки, количество складываемых элементов трубы, объемы земляных работ и монтажа, виды гидроизоляционных работ и их объем и т. д.).

2.4 Разработка рабочего чертежа конструкции водопропускной трубы

На листе миллиметровой бумаги формата А1 в расчетно-графической работе выполняется чертеж конструкции водопропускной трубы с основными конструктивными разрезами в масштабе 1:50. На листе должны быть размещены: фасад входного оголовка трубы; продольный разрез трубы в насыпи земляного полотна; разрез по конструкции фундамента с расположением фундаментных элементов; разрез звена трубы с устройством гидроизоляции; расположение трубы в плане. Также должна быть составлена спецификация элементов на железобетонную трубу и перечень основных объемов работ.

Пример оформления чертежа конструкции водопропускной трубы приведен в приложении И.



Рисунок 2.7 – Устройство гидроизоляции водопропускной трубы

3 ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ВОДОПРОПУСКНОЙ ТРУБЫ. ПЛАН СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ

3.1 Выбор машин и механизмов для сооружения водопропускной трубы

На строительную площадку доставляют и устанавливают бетономешалку, электростанцию, битумоварочный агрегат. Земляные работы производят экскаваторами (оборудованными обратной лопатой, драглайном, грейдером) с ковшами вместимостью 0,35–0,65 м³ и бульдозерами. Особое внимание при производстве работ уделяют выбору монтажного крана, который должен с минимальным количеством стоянок безопасно выполнить весь монтаж. Для правильного назначения необходимо знать не только массу и габарит груза, но и ряд технических характеристик грузоподъемного механизма (грузоподъемность, длину стрелы крана, вылет стрелы, высоту подъема крюка крана).

Грузоподъемность – максимальная масса груза, которая может быть поднята краном без нарушения прочности его конструкции и потери устойчивости.

Длина стрелы крана – расстояние между центром оси крепления стрелы крана (пяты) до оси крепления головного блока.

Вылет стрелы крана – расстояние от оси крепления стрелы крана до вертикальной оси, проходящей через центр тяжести груза по горизонтали.

Высота подъема крюка крана – наибольшее расстояние по вертикали, на которое может быть поднят кран грузового полиспада над уровнем рабочей площадки при данном положении стрелы.

Грузоподъемность и высота подъема крюка зависят от вылета и длины стрелы крана. Используя эти характеристики, определяют необходимую грузоподъемность крана.

Для монтажа водопропускных труб в основном применяют самоходные стреловые автомобильные краны с гидравлическими или составными жесткими стрелами («Машека» КС-55727-1-11, КС-4561, КС-65719-1К-1 «Клиницы», КС-3561А и многие другие).

Выбор крана начинают с рассмотрения его возможности безопасного монтажа самых тяжелых элементов водопропускной трубы с минимальным количеством стоянок, а затем рассматривают монтаж остальных элементов. Для примера рассмотрим монтаж тела трубы одноочковой прямоугольной железобетонной трубы (рисунок 3.1). На каждой стоянке автокрана установка его на дополнительные выносные опоры (аутригеры) обязательна.

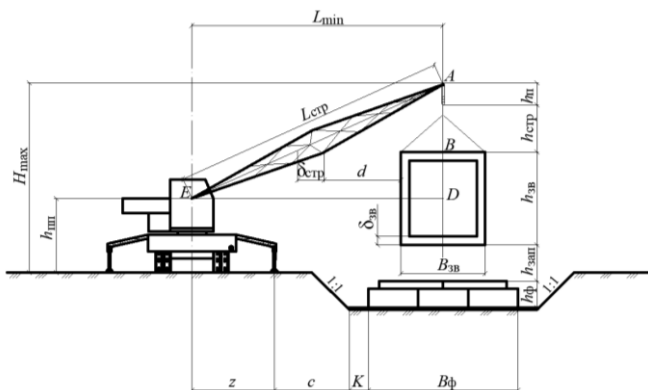


Рисунок 3.1 – Схема для выбора монтажного крана

На рисунке 3.1 приняты следующие обозначения:

$h_{\text{ф}}$ – высота фундамента вместе с подсыпкой, м.

$h_{\text{зап}}$ – минимальный монтажный зазор по высоте, необходимый для установки и проноса элемента над ранее смонтированной конструкцией, принимается $h_{\text{зап}} \geq 0,5$ м.

$h_{\text{зв}}$ – высота звена по внешним граням, м.

$h_{\text{стр}}$ – высота строповки звена, м.

$h_{\text{п}}$ – высота грузового полиспаста, $h_{\text{п}}^{\text{min}} = 2,0$ м.

$h_{\text{шт}}$ – высота от поверхности земли до пяты стрелы, м (определяется по техпаспорту крана). Для расчетов в РГР принимаем $\approx 2,6$ м.

H_{max} – максимальное расстояние от поверхности земли до оси блоков в головке стрелы крана, м.

$B_{\text{ф}}, B_{\text{зв}}$ – ширина фундамента и звена по внешним граням, м.

d – безопасный зазор между наружными гранями стрелы крана и звена водопропускной трубы, $d \geq 0,2$ м.

$\delta_{\text{стр}}$ – расстояние от оси стрелы до ее наружной грани в уровне верха звена, $\delta_{\text{стр}} \approx 0,5$ м.

L_{min} – минимальный вылет стрелы крана при монтаже элемента трубы, м.

$L_{\text{стр}}$ – длина стрелы, м.

z – расстояние от оси крепления стрелы крана по горизонтали до оси аутригера (в РГР для расчетов принимается $z \approx 2,2$ м).

c – расстояние от основания откоса котлована до ближайшей опоры крана (аутригера). По глубине котлована до 2,0 м принимается $c \geq 2,5$ м.

K – расстояние от основания откоса котлована до края фундамента трубы, $K = 0,5$ м.

Определяем минимальный вылет стрелы крана

$$L_{\text{min}} = z + c + K + \frac{B_{\text{ф}}}{2}. \quad (3.1)$$

Тогда минимальная требуемая длина стрелы, м,

$$L_{стр}^{ТР} = \sqrt{(H_{max} - h_{ни})^2 + L_{min}^2}. \quad (3.2)$$

Это значение сравнивают с длиной стрелы выбираемого крана и принимается большее значение

$$L_{стр}^{факт} \geq L_{стр}^{ТР},$$

где $L_{стр}^{факт}$ – выбранная длина стрелы крана;

$L_{стр}^{ТР}$ – минимальная требуемая длина стрелы крана.



Рисунок 3.2 – Общий вид автомобильного крана «Машека» KC-55727-1-11

Для выбора длины стрелы автомобильного крана, его грузоподъемности используют таблицы или графики. В пособии представлены автомобильный кран «Машека» KC-55727-1-11, имеющий номинальную грузоподъемность 25 т, снабженный стрелой длиной 28,08 м (рисунок 3.2) и автомобильный кран KC-4561 с номинальной грузоподъемностью 16 т со сборной стрелой 10, 14, 18 и 22 м.

На рисунке 3.3 представлены графики грузоподъемности этих кранов.

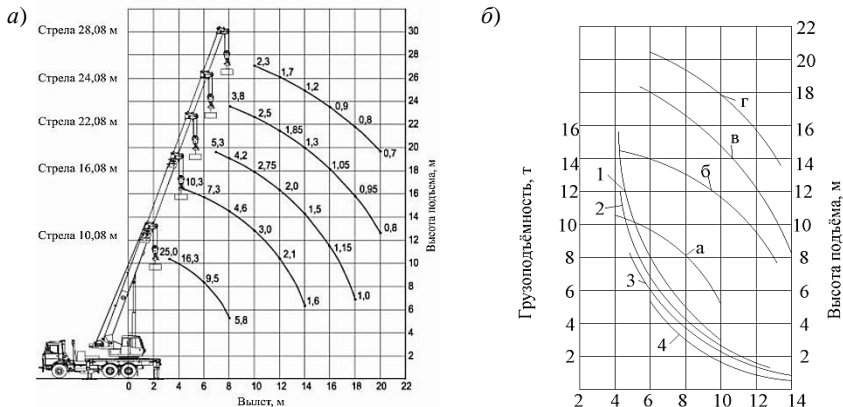


Рисунок 3.3 – Графики для определения грузоподъемности автомобильных кранов: а – «Машека» KC-55727-1-11; б – KC-4561, 1–4 грузоподъемность при стреле длиной соответственно 10, 14, 18 и 22 м на выносных опорах; а–г – высота подъема при стреле длиной соответственно 10, 14, 18 и 22 м

По графику определяют максимальный возможный вылет стрелы крана с данным грузом с каждой стоянки крана (L_{\max}). Таким образом, с каждой стоянки кран монтирует элементы трубы на определенном расстоянии по оси сооружения. Зная длину трубы, можно определить необходимое количество стоянок крана для ее монтажа.

Проверяем габаритность груза при монтаже на минимальном вылете стрелы крана. Фактическое значение d , м, определяется из условия подобия треугольников (см. рисунок 3.1):

$$d = \frac{AB \cdot DE}{AD} - \frac{B_{зв}}{2} - \delta_{стр} \geq 0, 2. \quad (3.3)$$

При максимальном вылете стрелы должен сохраняться монтажный зазор ($h_{зап}$) для установки элементов трубы.

Определяем высоту подъема крюка крана H , м, при максимальном вылете стрелы по графикам (см. рисунок 3.3). Убеждаемся в выполнении условия

$$H - (AD + h_{пп} - \delta_{зв}) \geq h_{зап}, \quad (3.4)$$

где $AD = \sqrt{L_{стр}^2 - L_{\max}^2}$,

L_{\max} – максимальный вылет стрелы крана для элемента;

$\delta_{зв}$ – толщина звена трубы.

При выполнении этих условий устанавливается техническая возможность использования крана для монтажа водопропускной трубы.

3.2 Разработка плана строительной площадки водопропускной трубы

План строительной площадки разрабатывается в соответствии с проектом производства работ (ППР). Первоначально площадка планируется, для чего обычно используются бульдозеры и сооружаются подъездные пути (временная автомобильная дорога).

При разработке плана строительной площадки (рисунок 3.4) необходимо предусмотреть места для складирования блоков фундамента, оголовков и тела трубы по их номенклатуре, контейнера с цементом, бака с водой, щебня и песка. Кроме того, должны быть предусмотрены места для размещения механизмов и машин: крана, электростанции, бетоно- или растворосмесителей, битумоварок и др.

Порядок размещения сборных элементов должен быть увязан с технологической последовательностью монтажа трубы. При разгрузке бетонных блоков должна быть обеспечена их сохранность от повреждений.

Фундаментные блоки укладывают в штабеля двумя продольными рядами по два-три яруса в каждом штабеле. Каждый блок в штабеле укладывают на две деревянные прокладки шириной не менее 10 см для сохранения мон-

тажных петель от повреждения и удобства строповки. Между штабелями блоков или между звеньями трубы оставляют промежутки шириной не менее 0,75 м для удобства строповки и возможности прохода рабочих.

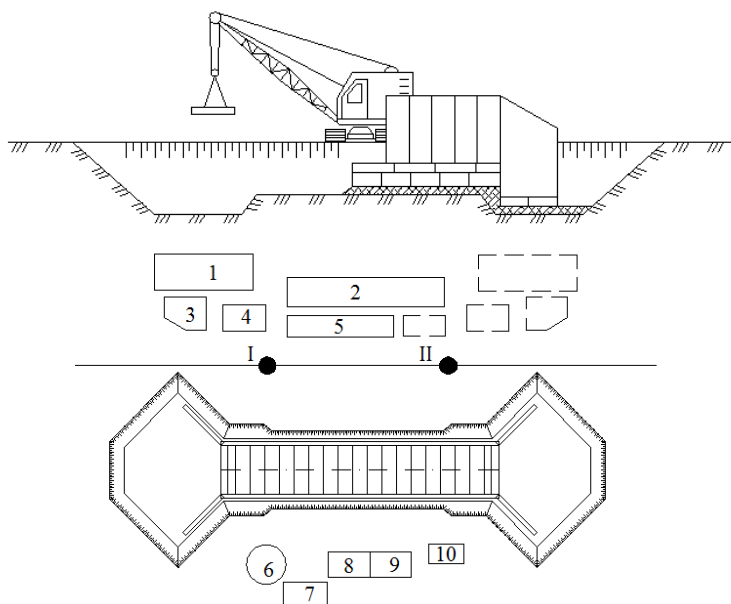


Рисунок 3.4 – План строительной площадки:

- 1 – фундаментные блоки; 2 – звенья трубы; 3 – блоки оголовков; 4 – порталные блоки;
 5 – лекальные блоки; 6 – бетономешалка; 7 – контейнер с цементом; 8 – склад щебня;
 9 – склад песка; 10 – электростанция; I, II – стоянки крана

Звенья труб укладывают в два ряда в вертикальном положении. При стесненных условиях на строительной площадке звенья труб разрешается укладывать в штабеля как в горизонтальном, так и в вертикальном положении. При горизонтальном положении звеньев в штабеле должно быть не более трех ярусов (при этом крайние звенья должны быть надежно расклинены от раскатывания), при вертикальном положении звеньев – два яруса.

Расстояние от продольной оси котлована до места разгрузки следует принимать таким, чтобы монтажный кран мог подавать элементы под сборку с наименьшим количеством перемещений.

Чаще монтажные работы выполняют только с одной стороны от продольной оси котлована. Тогда для удобства монтажа большую часть сборных элементов трубы сгружают на одной половине строительной площадки, другую половину оставляют для размещения вспомогательного оборудования и стоянки строительных машин (см. рисунок 3.4).

В расчетно-графической работе необходимо разработать план строительной площадки. На плане указываются габаритные размеры площадки, места складирования сборных элементов, материалов и оборудования, стоянки крана.

Строительная площадка должна занимать как можно меньшую территорию, но при этом допускать размещение объектов обслуживания строительства, материалов, изделий и средств механизации.

Пример оформления чертежа плана строительной площадки представлен в приложении К.

Чтобы спланировать сроки строительства сооружения, рассчитав время, расход материалов и количество работников, готовят график производства работ.

В строительной практике часто используется упрощенная линейная форма календарных графиков. После составления перечня работ, методов производства, расчетов объемов работ определяется трудоемкость каждого вида работ, основанных на укрупненных нормах на единицу производимых работ (для РГР) (приложение М).

Как правило, работы по сооружению небольших труб (16–25 м) выполняет команда в составе 4–6 человек, но возможно и большее количество исполнителей (подготовительные работы, 2 монтажные команды и т. п.)

При выполнении работ по постройке труб поточным методом организуют бригаду следующего состава: звено подготовительного цикла: монтажники конструкций – 2 чел.; землекопы – 2 чел.; звено монтажников – 4 чел.; звено изоляторов – 4 чел.

Укрепительные работы входного и выходного русла технологически не предусматриваются.

Примерный календарный график строительства прямоугольной железобетонной водопропускной трубы приведен в приложении Л.

Календарный график производства работ позволяет обеспечивать равномерную потребность в рабочей силе, своевременное завершение строительства и рассчитать численность исполнителей, устанавливать срок окончания работ.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

Исходные данные для проектирования водопропускной трубы

Вариант	Область, пункт проектирования	Высота насыпи H , м	Расчетный расход воды $Q_{рас}$, м ³ /с	Категория железной дороги	Отметка бровки земляного полотна ВБП	Тип трубы
1	Чечерск	6,2	6,8	III	172,6	КЖБТ
2	Барановичи	4,3	3,2	III	155,3	КЖБТ
3	Горки	5,7	7,49	II	149,6	ПБТ
4	Гродно	4,6	10,25	II	148,3	ПБТ
5	Мозырь	5,7	4,9	II	162,4	КЖБТ
6	Минск	6,4	19,2	II	158,3	ПЖБТ
7	Ивацевичи	4,8	9,8	IV	172,5	КЖБТ
8	Житковичи	6,8	20,3	IV	135,6	ПЖБТ
9	Волковыск	3,2	8,6	III	125,3	КЖБТ
10	Лида	5,4	10,2	II	155,2	КЖБТ
11	Березина	6,5	20,2	II	149,8	ПБТ
12	Слуцк	4,9	12,6	III	148,6	ПЖБТ
13	Брест	4,8	6,5	III	148,5	КЖБТ
14	Орша	4,5	8,5	III	143,2	КЖБТ
15	Могилев	5,7	13,8	II	185,6	КЖБТ
16	Витебск	7,2	12,4	II	156,2	ПБТ
17	Василевичи	6,2	7,9	II	142,3	КЖБТ
18	Жлобин	4,5	10,6	III	148,6	ПЖБТ
19	Борисов	3,4	6,8	IV	152,6	КЖБТ
20	Полоцк	7,2	12,5	III	125,6	ПБТ
21	Пинск	5,3	20,5	II	148,5	ПЖБТ
22	Гомель	6,2	4,8	III	128,6	КЖБТ
23	Бобруйск	4,8	9,3	II	132,5	КЖБТ
24	Ошмяны	3,7	8,6	III	142,6	ПБТ
25	Столбцы	5,2	10,5	IV	153,1	КЖБТ
26	Вилейка	6,1	21,3	II	136,1	ПБТ
27	Верхнедвинск	6,4	9,6	III	141,2	ПБТ
28	Кличев	4,9	10,1	II	138,2	КЖБТ
29	Октябрь	5,4	15,3	II	134,5	ПЖБТ
30	Лельчицы	4,8	8,5	II	142,6	КЖБТ

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)

Глубина промерзания грунта

Область, пункт	Глубина промерзания, см		Тип грунта
	средняя из максимальных за год	наибольшая из максимальных	
ВИТЕБСКАЯ ОБЛАСТЬ			
Езерище	67	130	Легкий пылеватый суглинок, подстилаемый на глубине 0,5–0,6 м моренным суглинком
Верхнедвинск	59	105	Тяжелый суглинок, подстилаемый на глубине 0,5 м глиной
Полоцк	60	122	Пылеватая супесь, подстилаемая на глубине 0,5–0,6 м моренным суглинком
Шарковщина	89	134	Тяжелый суглинок, подстилаемый на глубине 0,3–0,4 м глиной
Витебск	73	142	Легкий пылеватый суглинок, подстилаемый на глубине 0,5–0,6 м моренным суглинком
Лынтупы	63	123	Супесь, подстилаемая песком
Докшицы	82	130	Супесь, подстилаемая на глубине до 1 м моренным суглинком
Лепель	53	99	Супесь, подстилаемая на глубине до 1 м моренным суглинком
Сенно	79	129	Моренный суглинок
Орша	71	140	Легкий пылеватый суглинок, подстилаемая на глубине до 1 м моренным суглинком
МИНСКАЯ ОБЛАСТЬ			
Вилейка	80	148	Легкая супесь, подстилаемая на глубине до 1 м моренным суглинком
Борисов	71	147	Легкий суглинок, подстилаемый на глубине около 1 м песком
Воложин	51	97	Моренный суглинок
Минск	63	137	Легкий пылеватый суглинок, подстилаемый на глубине около 1 м песком
Березино	77	150	Легкая супесь, подстилаемая на глубине до 1 м песком
Столбцы	55	90	Супесь, подстилаемая на глубине 0,4–0,5 м моренным суглинком
Марьина Горка	79	134	Легкая супесь, подстилаемая на глубине до 1 м моренным суглинком
Слуцк	71	133	Легкий пылеватый суглинок, подстилаемый на глубине около 1 м песком

Продолжение приложения Б

Область, пункт	Глубина промерзания, см		Тип грунта
	средняя из максимальных за год	наибольшая из максимальных	
<i>ГРОДНЕНСКАЯ ОБЛАСТЬ</i>			
Ошмяны	78	142	Легкий пылеватый суглинок, подстилаемый на глубине 0,5 м моренным суглинком
Лида	58	113	Супесь, подстилаемая на глубине до 1 м моренным суглинком
Гродно	65	134	Суглинок, подстилаемый на глубине до 1 м моренным суглинком
Новогрудок	35	75	Легкий суглинок и пылеватая супесь, подстилаемые на глубине 0,3–0,4 м моренным суглинком
Волковыск	76	149	Супесь, подстилаемая на глубине до 1 м моренным суглинком
<i>МОГИЛЕВСКАЯ ОБЛАСТЬ</i>			
Горки	76	145	Легкий суглинок
Могилев	65	130	Легкий пылеватый суглинок, подстилаемый на глубине до 1 м моренным суглинком
Кличев	82	150	Супесь, подстилаемая на глубине около 1 м моренным суглинком
Славгород	75	140	
Костюковичи	77	150	
Бобруйск	69	132	Супесь, подстилаемая на глубине около 1 м моренным суглинком с прослойкой песка
<i>БРЕСТСКАЯ ОБЛАСТЬ</i>			
Барановичи	92	150	Супесь, подстилаемая на глубине 0,6–0,7 м песком или моренным суглинком
Ганцевичи	39	112	Песок и легкий суглинок, подстилаемый песком
Ивацевичи	47	127	Супесь, подстилаемая на глубине 0,5–0,6 м песком
Пружаны	77	150	Супесь, подстилаемая на глубине около 1 м моренным суглинком или супесью
Высокое	59	115	Супесь, подстилаемая на глубине 0,5–0,6 м моренным суглинком
Полесский	63	100	Песок
Брест	55	142	
Пинск	62	121	Пылеватая супесь, подстилаемая на глубине около 1 м суглинком

Окончание приложения Б

Область, пункт	Глубина промерзания, см		Тип грунта
	средняя из максимальных за год	наибольшая из максимальных	
<i>ГОМЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ</i>			
Жлобин	75	120	Супесь, подстилаемая на глубине около 1 м моренным суглинком
Чечерск	61	>150	Песок, подстилаемый на глубине около 1 м моренным суглинком
Октябрь	63	119	Песок, подстилаемый на глубине около 1 м моренным суглинком
Гомель	63	148	Песок
Василевичи	69	150	Пылеватая супесь и песок
Житковичи	48	102	Песок
Мозырь	68	135	Супесь, подстилаемая на глубине 0,3–0,4 м песком
Лельчицы	58	106	Песок
Брагин	62	115	Легкий пылеватый суглинок, подстилаемый на глубине около 1 м песком

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(справочное)

Типовые элементы круглых водопропускных железобетонных труб

*Трубы водопропускные железобетонные безнапорные
раструбные ГОСТ 24547-2016*

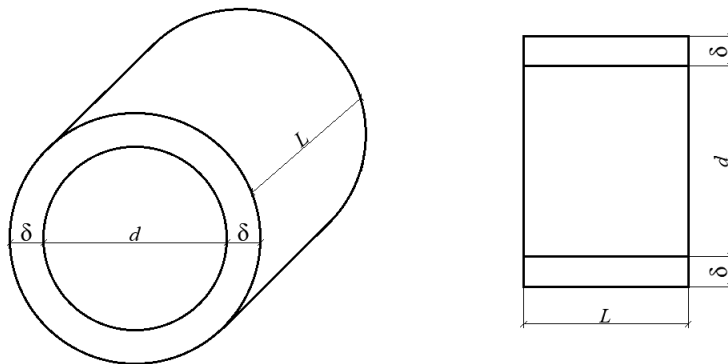


Рисунок В.1 – Цилиндрическое звено железобетонной безнапорной
раструбной трубы

**Таблица В.1 – Характеристика цилиндрических звеньев железобетонной
безнапорной раструбной трубы**

Марка звена	Геометрические размеры, мм			Объем, м ³	Масса изделия, т	Допустимая высота насыпи, м
	внутренний диаметр d , мм	толщина стенки δ , мм	длина L , мм			
ЗКЦ 3.100 (12)	1000	100	1000	0,35	0,9	До 3,0
ЗКЦ 4.100 (13)	1000	120	1000	0,42	1,1	3,1–8,0
ЗКЦ 5.100 (14)	1250	120	1000	0,52	1,3	До 3,0
ЗКЦ 6.100 (15)	1250	140	1000	0,61	1,5	3,1–8,0
ЗКЦ 8.100 (16)	1500	140	1000	0,72	1,8	До 3,0
ЗКЦ 9.100 (17)	1500	160	1000	0,83	2,1	3,1–8,0
ЗКЦ 10.100 (71)	1500	220	1000	1,19	3,0	8,1–19,0
ЗКЦ 11.100 (72)	2000	160	1000	1,09	2,7	До 3,0
ЗКЦ 12.100 (73)	2000	200	1000	1,38	3,5	3,1–8,0
ЗКЦ 13.100 (74)	2000	240	1000	1,69	4,2	8,1–19,0

Рисунок В.2 – Коническое звено железобетонной безнапорной раструбной трубы

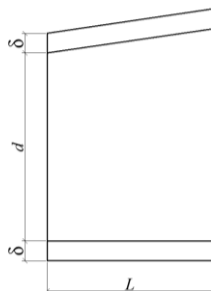


Таблица В.2 – Характеристика конических звеньев круглой железобетонной безнапорной раструбной трубы

Марка звена	Геометрические размеры, мм			Объем бетона, м ³	Масса изделия, т
	внутренний диаметр d , мм	толщина стенки δ , мм	длина L , мм		
ЗКК 11.132 (27)	1000	100	1320	0,50	1,3
ЗКК 12.132 (28)	1250	120	1320	0,74	1,9
ЗКК 13.132 (27)	1500	140	1320	1,03	2,6
ЗКК 14.132 (28)	2000	160	1320	1,55	3,9

Примечание – Маркировка труб включает в себя буквенное и числовое обозначение типа изделия, например ЗКЦ 4.100 (13), где ЗК – звено круглое, Ц – цилиндрическое, К – коническое, 4 – номер звена, 100 – полезная (рабочая) длина звена по оси трубы. В скобках указана маркировка по старым ГОСТам.

Блоки порталных стенок. Серия проекта 503–7–015.90

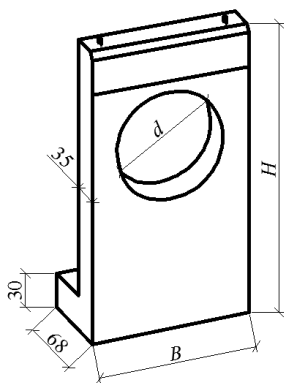


Рисунок В.3 – Блок порталной стенки для железобетонной круглой безнапорной раструбной трубы

Таблица В.3 – Характеристика блоков порталной стенки для железобетонной безнапорной раструбной трубы

Марка блока порталной стенки	Габаритные размеры, см			Объем бетона, м ³	Масса, т
	<i>B</i>	<i>H</i>	<i>d</i>		
П 12.18	175	293	120	1,56	3,90
П 14.20	195	315	140	1,76	4,40
П 16.21	214	335	160	2,02	5,05
П 22.20	274	420	220	2,73	6,8

Откосные стенки. Серия проекта 503–7–015.90

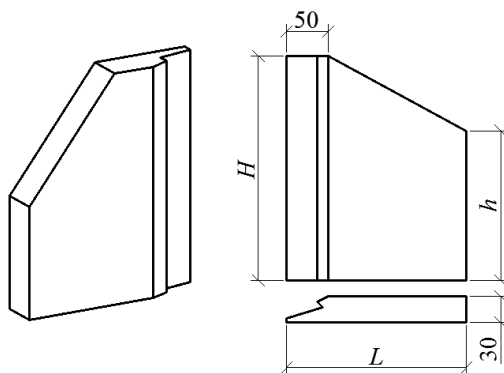


Рисунок В.4 – Откосная стенка для железобетонной безнапорной раструбной трубы

Таблица В.4 – Характеристика откосных стенок для железобетонной безнапорной раструбной трубы

Номер блока откосной стенки	Габаритные размеры, см			Объем бетона, м ³	Масса, т
	<i>H</i>	<i>l</i>	<i>h</i>		
38	227	185	142	0,94	2,35
39	247	220	141	1,20	2,98
40	279	270	141	1,60	4,00
41	311	322	141	2,14	5,35

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(справочное)

**Типовые элементы прямоугольных водопропускных
железобетонных труб**

*Звенья сборные прямоугольные железобетонные
для водопропускных труб ГОСТ 24547*

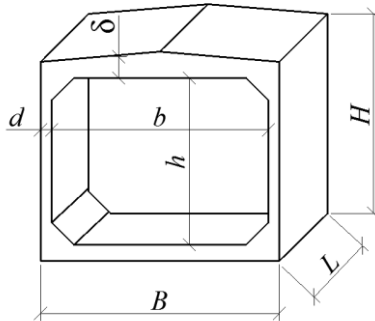


Рисунок Г.1 – Звено железобетонное прямоугольное водопропускной
трубы средней части

**Таблица Г.1 – Характеристика звеньев железобетонных прямоугольных
водопропускных труб средней части**

Марка звена	Высота насыпи, м	Габаритные размеры, см			Объем бетона, м ³	Масса, т
		длина <i>L</i>	ширина <i>B</i> (толщина стойки <i>d</i>)	высота <i>H</i> (толщина ригеля δ)		
ЗП 1.100 <i>b</i> × <i>h</i> = 100×150 см	1,86	100	122 (11)	174 (11)	0,66	1,7
ЗП 2.100 <i>b</i> × <i>h</i> = 100×150 см	7,00	100	122 (11)	178 (13)	0,70	1,8
ЗП 3.100 <i>b</i> × <i>h</i> = 100×150 см	19,00	100	122 (11)	186 (17)	0,80	2,0
ЗП 4.100 <i>b</i> × <i>h</i> = 125×150 см	1,88	100	149 (12)	179 (13)	0,81	2,0
ЗП 5.100 <i>b</i> × <i>h</i> = 125×150 см	7,00	100	149 (12)	185 (16)	0,90	2,3
ЗП 6.100 <i>b</i> × <i>h</i> = 125×150 см	19,00	100	149 (12)	193 (20)	1,02	2,6
ЗП 7.100 <i>b</i> × <i>h</i> = 150×200 см	2,40	100	174 (12)	233 (15)	1,11	2,8
ЗП 8.100 <i>b</i> × <i>h</i> = 150×200 см	9,00	100	174 (12)	243 (20)	1,28	3,2

Окончание таблицы Г.1

Марка звена	Высота насыпи, м	Габаритные размеры, см			Объем бетона, м ³	Масса, т
		длина L	ширина B (толщина стойки d)	высота H (толщина ригеля δ)		
ЗП 9.100 $b \times h = 150 \times 200$ см	19,00	100	180 (15)	253 (25)	1,60	4,0
ЗП 10.100 $b \times h = 200 \times 200$ см	3,50	100	226 (13)	238 (17)	1,41	3,5
ЗП 11.100 $b \times h = 200 \times 200$ см	9,00	100	226 (13)	250 (23)	1,69	4,2
ЗП 12.100 $b \times h = 200 \times 200$ см	19,00	100	232 (16)	268 (32)	2,25	5,6
ЗП 13.100 F $b \times h = 250 \times 200$ см	3,50	100	276 (13)	245 (20)	1,77	4,4
ЗП 14.100 $b \times h = 250 \times 200$ см	9,00	100	284 (17)	257 (26)	2,31	5,8
ЗП 15.100 $b \times h = 250 \times 200$ см	19,00	100	290 (20)	279 (37)	3,10	7,8
ЗП 16.100 $b \times h = 300 \times 250$ см	5,00	100	332 (16)	300 (22)	2,49	6,2
ЗП 17.100 $b \times h = 300 \times 250$ см	9,00	100	340 (20)	314 (29)	3,20	8,0
ЗП 18.100 $b \times h = 300 \times 250$ см	19,00	100	346 (23)	332 (38)	4,02	10,0

Примечание – Маркировка железобетонных труб включает в себя буквенное и числовое обозначение типа изделия, например ЗП 1.100 $b \times h = 100 \times 150$ см, где ЗП – звено прямоугольное; 1 – номер звена; 100 – полезная (рабочая) длина трубы; $b \times h = 100 \times 150$ см – отверстие в см.

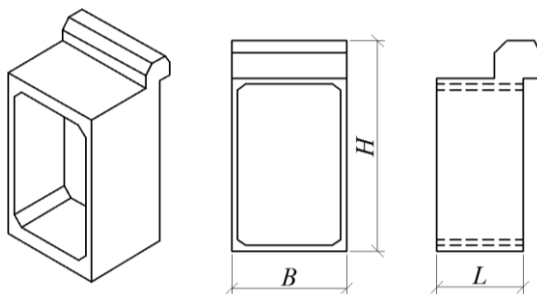


Рисунок Г.2 – Звенья оголовка для трубы водопропускной железобетонной прямоугольной сборной

Т а б л и ц а Г.2 – Характеристика звеньев оголовка для трубы водопропускной железобетонной прямоугольной сборной

Наименование изделия	Отверстие трубы, см	Габаритные размеры, см			Объем бетона, м ³	Масса, т
		ширина <i>B</i> (толщина стойки <i>d</i>)	высота <i>H</i> (толщина ригеля δ)	длина <i>L</i>		
ЗП 27 сб. (блок № 98)	100×150	122 (11)	262 (11)	100	0,95	2,4
ЗП 32 сб. (блок № 99)	100×150	122 (11)	212 (11)	100	0,84	2,1
ЗП 34 сб. (блок № 105)	100×150	124 (12)	270 (15)	100	1,37	3,4
ЗП 28 сб. (блок № 101)	125×150	149 (12)	266 (13)	100	1,17	2,9
ЗП 33 сб. (блок № 102)	125×150	149 (12)	216 (13)	100	1,03	2,6
ЗП 29 сб. (блок № 104)	150×200	174 (12)	320 (15)	100	1,49	3,7
ЗП 35 сб. (блок № 53)	150×200	226 (13)	274 (27)	100	1,75	4,4
ЗП 30 сб. (блок № 52)	200×200	226 (13)	324 (17)	100	1,88	4,7
ЗП 31 сб. (блок № 55)	250×200	276 (13)	330 (20)	100	2,32	5,8
ЗП 36 сб. (блок № 56)	250×200	276 (13)	280 (20)	100	2,19	5,5
ЗП 37 сб. (блок № 106)	300×250	332 (16)	334 (20)	100	3,00	7,5

Откосные стенки. Серия проекта 3.501.1–177.93

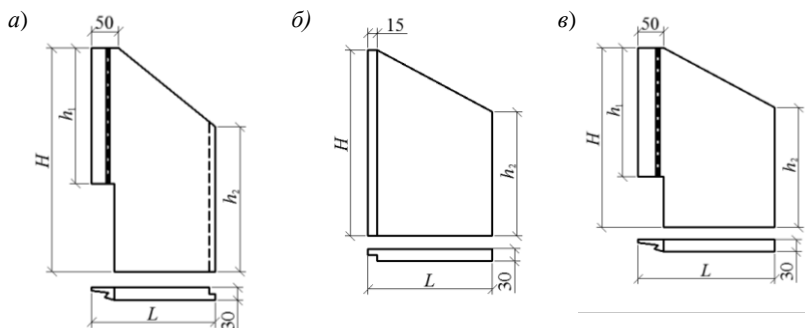


Рисунок Г.3 – Откосные стенки для трубы водопропускной железобетонной прямоугольной сборной:

а – марки СТ-1, СТ-2; б – марки СТ-3; в – марки СТ-4

Т а б л и ц а Г.3 – Характеристика откосных стенок для трубы водопропускной железобетонной прямоугольной сборной

Марка откосного крыла (№ блока)	Габаритные размеры, см				Объем бетона, м ³	Масса, т
	L	H	h ₁	h ₂		
СТ-1 (57)	189	361	221	274	1,52	3,8
СТ-2 (58)	277	415	275	274	2,59	6,5
СТ-3 (59)	175	279	–	172	1,13	2,8
СТ-4 (108)	270	303	163	165	1,77	4,4

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
(справочное)

**Типовые элементы
прямоугольных водопропускных бетонных труб**

Серия проекта 3.501.1–157

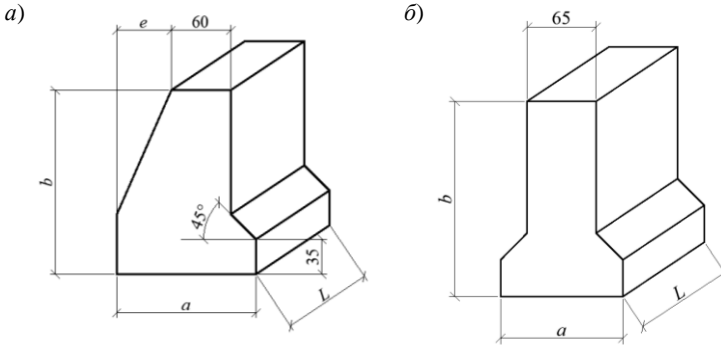


Рисунок Д.1 – Массивные стеновые блоки (стенки) бетонных водопропускных труб:
a – боковые; *b* – средние

Таблица Д.1 – Характеристика массивных стеновых блоков (стенок) бетонных водопропускных труб

Марка блока		Габаритные размеры, см			Объем бетона, м ³	Масса, т	
		длина <i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>			<i>e</i>
Ст. 1.100 (4)	Боковые	100	140	185	55	1,83	4,4
Ст. 1.150		150	140	185	55	2,75	6,6
Ст. 1.200		200	140	185	55	3,86	8,8
Ст. 2.100 (5)		100	165	285	70	3,01	7,2
Ст. 2.150		150	165	285	70	4,50	10,8
Ст. 2.200		200	165	285	70	6,00	14,4
Ст. 3.100 (6)	Средние	100	115	185	–	1,42	3,4
Ст. 3.150		150	115	185	–	2,13	5,1
Ст. 3.200		200	115	185	–	2,84	6,8
Ст. 4.100 (7)		100	135	285	–	2,22	5,3
Ст. 4.150		150	135	285	–	3,27	7,8
Ст. 4.200		200	135	285	–	4,36	10,5

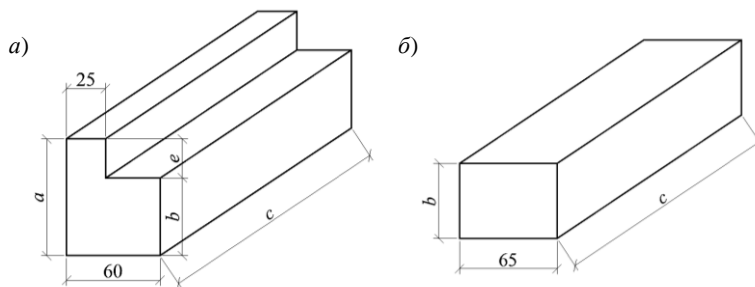


Рисунок Д.2 – Железобетонные насадки на стеновые блоки:
 a – боковые; b – средние

Т а б л и ц а Д.2 – Характеристика железобетонных насадок на стеновые блоки

Марка насадки	Габаритные размеры, см				Объем, м ³	Масса блока, т	Высота насыпи, м	
	a	b	c	e				
Н1-302 (8 ^А)	Боковые	65	50	302	15	1,02	2,6	До 7,0
Н2-302 (8)		75	50	302	25	1,09	2,7	7,0–19,0
Н3.302 (9 ^А)		115	100	302	15	1,92	4,8	До 7,0
Н4.302 (9)		125	100	302	25	2,00	5,0	7,0–19,0
Н1.403 (12 ^А)		65	50	403	15	1,36	3,4	До 7,0
Н2.403 (12)		75	50	403	25	1,46	3,7	7,0–19,0
Н5.302 (10)	Средние	–	50	302	–	0,98	2,4	–
Н5.403		–	50	403	–	1,31	3,3	–
Н6.302		–	100	302	–	1,97	4,9	–

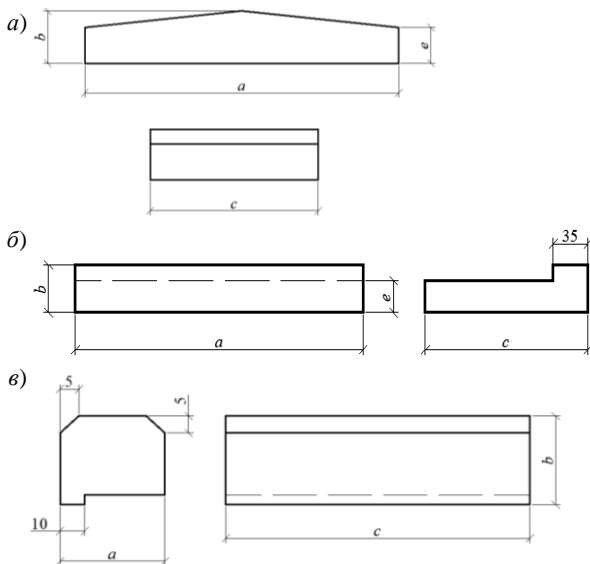


Рисунок Д.3 – Элементы перекрытия бетонных водопропускных труб:
a – плита перекрытия; *b* – плита перекрытия оголовочная; *e* – кордон

Таблица Д.3 – Характеристика элементов перекрытия бетонных водопропускных труб

Марка насадки		Габаритные размеры, см				Объем, м ³	Масса блока, т	Высота насыпи, м
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>e</i>			
Плита перекрытия	П1.210	210	20	100	16	0,38	1,0	До 7
	П2.210	210	31	100	27	0,61	1,5	7–19
	П1.260	260	23	100	18	0,53	1,3	До 7
	П2.260	260	38	100	33	0,92	2,3	7–19
	П1.360	360	32	100	25	1,03	2,6	До 7
	П2.360	360	49	100	42	1,64	4,1	7–19
	П1.460	460	38	100	29	1,54	3,9	До 7
	П2.460	460	59	100	50	2,51	6,3	7–19
Плита перекрытия оголовочная	ПЗ.210	210	25	100	21	0,43	1,1	–
	ПЗ.260	260	28	100	23	0,60	1,5	–
	ПЗ.360	360	37	100	30	1,13	2,8	–
	ПЗ.460	460	43	100	32	1,69	4,2	–
Кордон	БК1	45	44	145	–	0,26	0,6	–
	БК2	45	44	170	–	0,31	0,7	–
	БК3	45	44	200	–	0,36	0,9	–

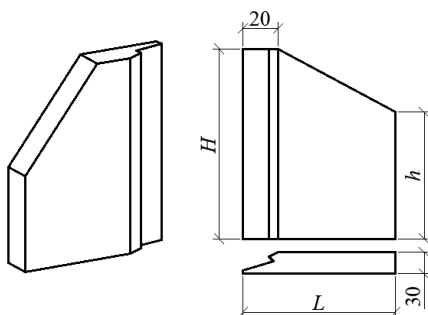


Рисунок Д.4 – Откосная стенка для бетонной безнапорной раструбной трубы

Т а б л и ц а Д.4 – Характеристика откосных стенок для бетонной безнапорной раструбной трубы

Номер блока откосной стенки	Габаритные размеры, см			Объем бетона, м ³	Масса, т
	<i>H</i>	<i>L</i>	<i>h</i>		
Ст 5	325	340	125	2,31	5,8
Ст 6	395	228	265	2,24	5,6
Ст 7	265	192	145	1,19	3,0
Ст 8	445	308	265	3,26	8,2

ПРИЛОЖЕНИЕ Е
(справочное)

Типовые элементы фундаментов

Фундаментные плиты. Серия проекта 3.501.1–177.93

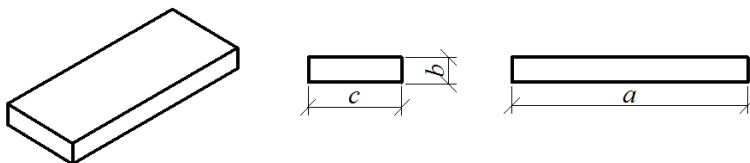


Рисунок Е.1 – Фундаментные плиты

Таблица Е.1 – Характеристика фундаментных плит

Марка фундаментной плиты	Габаритные размеры, см			Объем бетона, м ³	Масса, т
	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>b</i>		
Ф1	150	125	20	0,40	1,0
Ф2	201	125	20	0,50	1,25
Ф3	251	125	20	0,64	1,6
Ф4	150	150	20	0,44	1,1
Ф5	201	150	20	0,60	1,5
Ф11	95	50	20	0,12	0,3
Ф12	190	50	20	0,20	0,5
Ф13	240	50	20	0,24	0,6
Ф14	142	68	20	0,19	0,5
Ф15	176	68	20	0,24	0,6
Ф16	210	68	20	0,29	0,7

Таблица Е.2 – Характеристика фундаментных блоков

Марка фундаментных блоков	Габаритные размеры, см			Объем бетона, м ³	Масса, т
	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>b</i>		
Ф6.065	65	132	70	0,60	1,5
Ф6.100	100	132	70	0,92	2,3
Ф6.201	201	132	70	1,80	4,5
Ф6.302	302	132	70	2,68	6,7
Ф6.403	403	132	70	3,56	8,9
Ф7.100	100	159	70	1,10	2,8
Ф7.201	201	159	70	2,16	5,4
Ф7.302	302	159	70	3,24	8,1
Ф7.403	403	159	70	4,32	10,8
Ф8.201	201	190	70	2,56	6,4
Ф8.302	302	190	70	3,24	8,1
Ф8.403	403	190	70	5,12	12,8

Окончание таблицы Е.2

Марка фундаментных блоков	Габаритные размеры, см			Объем бетона, м ³	Масса, т
	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>b</i>		
Ф9.201	201	242	70	3,28	8,2
Ф9.302	302	242	70	4,92	12,3
Ф10.201	201	300	70	4,08	10,2

Лекальные блоки фундаментов. Серия проекта 503–7–01590

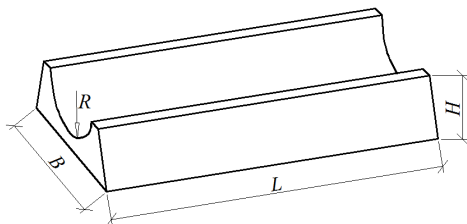


Рисунок Е.2 – Лекальный блок для железобетонной безнапорной раструбной трубы

Таблица Е.3 – Характеристика лекальных блоков для железобетонной круглой безнапорной раструбной трубы

Марка лекального блока	Внутренний диаметр трубы <i>d</i> , см	Габаритные размеры, см				Объем бетона, м ³	Масса, т
		<i>B</i>	<i>L</i>	<i>H</i>	<i>R</i>		
БЛ 1.201 (4)	100	119	200	43	61	0,72	1,81
БЛ 1.150 (5)	100	119	150	43	61	0,57	1,4
БЛ 2.201 (6)	125	139	200	48	72	0,93	2,33
БЛ 2.150 (7)	125	139	150	48	72	0,72	1,81
БЛ 4.201 (8)	150	160	200	52	82	1,15	2,9
БЛ 4.150 (9)	150	160	150	52	82	0,86	2,1
БЛ 6.201 (64)	200	195	200	59	103	1,48	3,7
БЛ 6.150 (65)	200	195	150	59	103	1,11	2,8

Таблица Е.4 – Характеристика лекальных блоков для конических звеньев железобетонной круглой безнапорной раструбной трубы

Марка лекального блока	Внутренний диаметр трубы <i>d</i> , см	Габаритные размеры, см				Объем бетона, м ³	Масса, т
		<i>B</i>	<i>L</i>	<i>H</i>	<i>R</i>		
БЛ 9.132 (24)	100	132	132	46	–	0,58	1,5
БЛ 10.132 (25)	125	154	132	51	–	0,80	2,0
БЛ 11.132 (26)	150	178	132	56	–	0,87	2,2
БЛ 12.132 (75)	200	224	132	66	–	1,20	3,0

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж
(справочное)

Нормативные значения прочностных и деформационных характеристик грунтов

Таблица Ж.1 – Нормативные значения удельного сцепления c_n , кПа, угла внутреннего трения φ_n , град, и модуля деформации E , МПа, для песчаных грунтов четвертичных отложений

Наименование песчаных грунтов	Обозначение характеристик грунтов	Значения характеристик грунтов при коэффициенте пористости e			
		0,45	0,55	0,65	0,75
Гравелистые и крупные	c_n	2	1	–	–
	φ_n	43°	40°	38°	35°
	E	50	40	30	15
Средней крупности	c_n	3	2	1	–
	φ_n	40°	38°	35°	33°
	E	45	35	25	13
Мелкие	c_n	6	4	2	–
	φ_n	38°	36°	32°	28°
	E	40	30	20	12
Пылеватые	c_n	8	6	4	2
	φ_n	36°	34°	30°	26°
	E	35	25	18	11

Таблица Ж.2 – Условное расчетное сопротивление R_0 глинистых грунтов

В килопаскалях

Глинистые грунты	Коэффициент пористости e	Показатель текучести грунта I_L		
		0	0,5	0,75
Супеси	0,5	400	300	250
	0,7	300	250	200
Суглинки	0,5	400	350	300
	0,7	350	300	200
	0,85	250	200	150
Глины	0,5	600	500	400
	0,6	500	400	300
	0,8	300	250	200
	1,0	250	200	150

Т а б л и ц а Ж.3 – Нормативные значения удельного сцепления c_n , кПа, угла внутреннего трения φ_n , град, и модуля деформации E , МПа, для глинистых (не моренных и не лессовых) грунтов четвертичных отложений

Глинистые грунты	Пределы нормативных значений показателя текучести I_L	Обозначения характеристик грунтов	Значения характеристик грунтов при коэффициенте пористости e						
			0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
Супеси	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c_n	21	17	15	13	–	–	–
		φ_n	30°	29°	27°	24°	–	–	–
		E	32	24	16	10	7	–	–
	$0,25 < I_L \leq 0,75$	c_n	19	15	13	11	9	–	–
		φ_n	28°	26°	24°	21°	18°	–	–
		E	31	23	15	9	6	–	–
Суглинки	$0 < I_L \leq 0,25$	c_n	47	37	31	25	22	19	–
		φ_n	26°	25°	24°	23°	22°	20°	–
		E	34	27	22	17	14	11	–
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	c_n	39	34	28	23	18	15	–
		φ_n	24°	23°	22°	21°	19°	17°	–
		E	32	25	19	14	11	8	–
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	c_n	–	–	25	20	16	14	12
		φ_n	–	–	19°	18°	16°	14°	12°
		E	–	–	17	12	8	6	5
Глины	$0 < I_L \leq 0,25$	c_n	–	81	68	54	47	41	36
		φ_n	–	21°	20°	19°	18°	16°	14°
		E	–	28	24	21	18	15	12
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	c_n	–	–	57	50	43	37	32
		φ_n	–	–	18°	17°	16°	14°	11°
		E	–	–	21	18	15	12	9

Т а б л и ц а Ж.4 – Условные сопротивления песчаных грунтов

Пески	Значение R_0 , кПа, в зависимости от прочности песков	
	Прочные при коэффициенте пористости e от 0,45 до 0,54	Средней прочности при коэффициенте пористости e от 0,55 до 0,75
Крупные	600	500
Средние	500	400
Мелкие:		
маловлажные и влажные водонасыщенные	400	300
	300	250
Пылеватые:		
маловлажные	300	250
влажные	250	150
водонасыщенные	200	100

ПРИЛОЖЕНИЕ М
(справочное)

**Укрупненные условные нормы трудозатрат
при сооружении водопропускных труб**

Наименование работ	Трудозатраты на единицу работы (чел.-дн.)
Планировка строительной площадки бульдозером, м ²	0,0005
Разбивочные работы, чел.-дн.	1
Складирование элементов, шт.	0,08
Отрывка котлована экскаватором, оборудованным обратной лопатой (бульдозером), м ³	0,01
Зачистка дна котлована вручную, м ³	0,21
Устройство щебеночной подготовки под тело трубы и оголовки толщиной 10 см, м ²	0,02
Установка лекальных блоков, шт.	0,58
Установка блоков фундамента, шт.	0,17
Установка фундаментных плит, шт.	0,28
Установка блоков стен бетонных труб, шт.	0,47
Установка железобетонных колец, шт.	0,39
Установка насадок, плит перекрытий, шт.	0,23
Бетонирование лотков, м ³	0,43
Засыпка пазух котлована и уплотнение грунта пневмотрамбовкой, м ³	0,26
Компоновка швов между звеньями и блоками, м	0,01
Оклеечная изоляция трубы, м ²	0,035
Обмазочная изоляция (два раза) трубы, м ²	0,015
Заделка и расшивка швов цементным раствором, м	0,013
Засыпка трубы экскаватором, оборудованным грейфером с последующим уплотнением, м ³	0,03

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **СН 3.03.01–2019.** Мосты и трубы. Строительные нормы проектирования. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 278 с.
- 2 **ТКП 45-5.01-67–2007.** Фундаменты плитные. Правила проектирования. – Введ. 2007–04–02. – Минск : Минстройархитектуры, 2008. – 136 с.
- 3 **СНБ 2.04.02–2000.** Строительная климатология. – Взамен СНиП 2.01.01–82 ; введ. 2000–12–07. – Минск : Минстройархитектуры, 2001. – 37 с.
- 4 **СНБ 3.03.01–98.** Железные дороги колеи 1520 мм. – Взамен СНиП II–39–76, СНиП III–38–75 и СН 468–74 ; введ. 1998–08–01. – Минск : Минстройархитектуры, 1998. – 26 с.
- 5 **ГОСТ 6482–2011.** Трубы железобетонные безнапорные. Технические условия. – Взамен ГОСТ 6482–88 ; введ. 2013–01–01. – М. : Стандартинформ, 2013. – 20 с.
- 6 **ГОСТ 24547–2016.** Звенья железобетонные водопропускных труб под насыпями автомобильных и железных дорог. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ 24547–81 ; введ. 2017–07–01. – М. : Стандартинформ, 2017. – 16 с.
- 7 **Серия 3.501.1–177.93.** Трубы водопропускные железобетонные прямоугольные сборные для автомобильных и железных дорог. – Введ. 1994–07–01. – СПб. : Трансмост, 1993.
- 8 **Этин, П. Ю.** Проектирование водопропускных железобетонных труб под насыпями автомобильных дорог / П. Ю. Этин. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 47 с.
- 9 **Другов, Л. И.** Проектирование водопропускных труб под насыпями железных дорог / Л. И. Другов. – Гомель : БелИИЖТ, 1989. – 38 с.
- 10 **Гриценко, В. А.** Проектирование основания и фундамента водопропускной трубы / В. А. Гриценко, В. Н. Шестаков. – Омск : СибАДИ, 2010. – 43 с.
- 11 **Красин, Н. А.** Проектирование и расчет водопропускных труб под насыпями / Н. А. Красин, Р. К. Мамажанов, А. В. Тарсин. – Ташкент : ТашИИТ, 1986. – 32 с.
- 12 **Глушков, Ю. П.** Выбор крана для объекта строительства / Ю. П. Глушков, А. А. Хмель. – Чита: ЗабГУ, 2012. – 48 с.
- 13 **Горячева, И. А.** Технические характеристики и выбор грузоподъемных кранов : учеб.-метод. пособие / И. А. Горячева, Н. Я. Казаченко. – Минск : БНТУ, 2010. – 196 с.
- 14 **Александров, А. С.** Технология строительства водопропускных труб автомобильных дорог : учеб. пособие / А. С. Александров, Т. В. Семенова. – Омск : СибАДИ, 2015. – 127 с.

Учебное издание

ЛЕВТРИНСКИЙ Владимир Викторович
ЭТИН Павел Юрьевич

**Проектирование водопропускных железобетонных и бетонных труб
под насыпями железных дорог**
Пособие

Редактор *Я. А. Васьевич*
Технический редактор *В. Н. Кучерова*
Компьютерный набор и верстка *П. Ю. Этина, Т. И. Шляхтовой*

Подписано в печать 27.05.2022 г. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 3,25 + 2 вкл. Уч.-изд. л. 3,14. Тираж 100 экз.
Зак. № 1210. Изд. № 24

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/361 от 13.06.2014.
№ 2/104 от 01.04.2014.
№ 3/1583 от 14.11.2017.
Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

Кафедра строительных технологий и конструкций

В. В. ЛЕВТРИНСКИЙ, П. Ю. ЭТИН

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОПРОПУСКНЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ И БЕТОННЫХ ТРУБ
ПОД НАСЫПЯМИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

Пособие

Гомель 2022