

# 1054

## **ПРОЕКТ ВОДОПРОПУСКНОЙ ТРУБЫ ПОД НАСЫПЬЮ ДОРОГИ**

*Методические указания  
к выполнению курсового и дипломного проектирования  
для студентов, обучающихся по направлению  
08.03.01 «Строительство»,  
профиль «Автомобильные мосты и тоннели»*

Воронеж 2015

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Воронежский государственный архитектурно-строительный университет»

Кафедра проектирования автомобильных дорог и мостов

**ПРОЕКТ ВОДОПРОПУСКНОЙ ТРУБЫ  
ПОД НАСЫПЬЮ ДОРОГИ**

*Методические указания  
к выполнению курсового и дипломного проектирования  
для студентов, обучающихся по направлению  
08.03.01 «Строительство»,  
профиль «Автомобильные мосты и тоннели»*

Воронеж 2015

УДК 625.745.2(07)  
ББК 39.112 я 7

*Составители*

*В.Г. Ерёмин, А.В. Андреев, В.П. Волокитин,  
В.А. Журавлёв*

**Проект водопропускной трубы под насыпью дороги:** метод. указания к вып. курсового и дипломного проектирования по дисциплине «Проектирование мостов и труб» для студ., обуч. по направ. 08.03.01 «Строительство»/ Воронежский ГАСУ; сост.: В.Г. Ерёмин, А.В. Андреев, В.П. Волокитин, В.А. Журавлёв.- Воронеж, 2015 - 31с.

Методические указания содержат рекомендации по разработке проекта водопропускной трубы под насыпями дорог. Рассмотрены вопросы по индивидуальному проектированию конструкций водопропускных труб на всех этапах, начиная со статических расчётов, конструированию и заканчивая разработкой технологии строительства.

Указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство» при выполнении курсового и дипломного проектирования.

Ил. 5. Табл. 3. Библиогр.: 7 назв.

**УДК 625.745.2(07)  
ББК 39.112 я 7**

*Печатается по решению учебно-методического совета  
Воронежского ГАСУ*

**Рецензент** – *Вл.П. Подольский, д.т.н., проф. кафедры строительства  
и эксплуатации автомобильных дорог Воронежского ГАСУ*

## ВВЕДЕНИЕ

Наиболее распространённым видом искусственных сооружений на автомобильных и железных дорогах являются водопропускные трубы, которые предназначены для пропуска под земляным полотном дороги постоянных или временных водотоков с расходами воды до  $100 \text{ м}^3 / \text{с}$ . Конструктивно дорожные трубы могут устраиваться и с иными целями - в качестве скотопрогонов, пешеходных тоннелей, а также тоннелей для проезда местного автомобильного транспорта под магистралями. В ряде случаев водопропускные трубы большого диаметра или многоочковые оказываются намного эффективнее малых мостов. Основным достоинством труб по сравнению с малыми мостами является непрерывность проезжей части, что предопределяет движение транспортных средств с расчетными скоростями с обеспеченными плавностью и безопасностью.

В большинстве случаев на дорогах применяются типовые водопропускные трубы. Однако в случае расположения трубы под насыпью выше 12 м или необходимости значительно большего отверстия трубы, чем в типовых проектах осуществляется индивидуальное проектирование водопропускных труб.

Цель курсового проекта - приобретение практических навыков студентов в вопросах статического расчета, конструирования и разработки технологии строительства водопропускных труб.

В методических указаниях рассматриваются вопросы проектирования круглых железобетонных труб, прямоугольных железобетонных труб из контурных звеньев и из отдельных плитных элементов, а также металлических гофрированных труб. Высота насыпи дороги, характеристики грунтов размеры отверстия трубы и тип конструкции определяются заданием. Детальное проектирование основных конструктивных элементов трубы студент выполняет самостоятельно на основе выполненных статических расчётов.

Курсовой проект должен содержать следующие разделы:

1. Введение.
2. Обоснование предварительного назначения элементов трубы.
3. Статический расчёт элементов трубы.
  - 3.1. Определение давления грунта насыпи на элементы трубы.
  - 3.2. Определение расчетных усилий, действующих на элементы трубы.
  - 3.3. Расчет тела трубы по I и II группе предельных состояний.
  - 3.4. Расчёт оголовков и фундамента трубы.
4. Разработка конструкции элементов трубы.
  - 4.1. Конструкция звеньев.
  - 4.2. Конструкция оголовков.
  - 4.3. Конструкция фундамента.
  - 4.4. Конструкция укрепления откоса насыпи и русла трубы.
5. Разработка технологии производства работ по строительству

водопроепускной трубы.

5.1. Разбивочные работы.

5.2. Технология устройства котлована.

5.3. Устройство фундамента.

5.4. Монтаж звеньев и оголовков.

5.5. Устройство гидроизоляции.

5.6. Технология работ при засыпке тела трубы.

5.7. Укрепительные работы.

Отдельные разделы могут быть уточнены при выполнении проекта в зависимости от типа и конструкции водопроепускной трубы.

Курсовой проект содержит 2 листа графического материала формата А1, выполненных в системе «AutoCAD». Лист №1- Конструкция водопроводной трубы и её элементов; Лист №2- Технология производства работ по строительству водопроводной трубы.

## **1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И РАСЧЁТУ ВОДОПРОВОДНЫХ ТРУБ**

1.1. В проекте принимается положение об индивидуальном проектировании водопроепускной трубы. Основные геометрические характеристики звеньев, фундамента, оголовков назначаются на основании заданного отверстия, типа трубы, грунтовых условий, высоты насыпи, длины трубы, исходя из соотношения размеров типовых решений с использованием рекомендаций настоящих методических указаний.

1.2. Отверстие трубы в натуральных условиях определяют гидравлическим расчётом по максимальному объёму воды в единицу времени. Последовательность определения необходимого отверстия водопроепускной трубы рассматривается в курсе «Проектирование мостовых и тоннельных переходов». В настоящем проекте внутреннее отверстие трубы определяется заданием.

1.3. Заложение откосов насыпи принимается в соответствии с типовыми решениями поперечных профилей автомобильных и железных дорог (для автомобильных дорог «Союздорпроект» (СДП) № 503- 0- 48.87)

1.4. Полная длина трубы определяется по длине подошвы насыпи с учетом расположения оголовков в соответствии с категорией автомобильной дороги или с количеством путей железной дороги. При этом отверстие и высоту труб в свету следует назначать не менее [1]:

1.0 м – при длине трубы до 20 м;

1,25 м – при длине трубы 20 м и более.

На автодорогах ниже II категории допускаемые отверстия:

1.0 м – при длине трубы до 30 м;

0,75 м – при длине трубы 15 м;

0.5 м – на объездах.

1.5. Продольный уклон трубы принимается соответствующим продольному уклону лога, или продольному уклону постоянного водотока. В курсовом проекте продольный уклон принимается в соответствие с заданием.

1.6. Строительный подъем середины трубы принимается в соответствии с [1]:

- при высоте насыпи свыше 12 м в соответствии с расчетом ожидаемых осадок от веса грунта насыпи;

- при высоте насыпи 12 м и менее;

- при фундаментах на песчаных, галечниковых и гравелистых грунтах основания —  $1/80 H$  ( $H$ - высота насыпи);

- при фундаментах на глинистых, суглинистых и супесчаных грунтах основания —  $1/50 H$ ;

- при грунтовых подушках из песчано-гравелистой или песчано-щебеночной смеси  $1/40 H$ ;

1.7. Размеры конструктивных элементов для железобетонных круглых труб принимаются

- длина короткомерных звеньев - 1,0; 1,5 и 2,0 м;

- длина длинномерных звеньев - 4,5; 5,0 и 6,0 м;

- длина звеньев с плоской подошвой - 2,0 и 3,0 м;

- внутренний диаметр концевого звена у входного оголовка -  $1,2 D$  ( $D$ - размер внутреннего диаметра);

- толщина стенки звена с ненапрягаемой арматурой  $t = 0,1 D$ ;

- толщина стенки звена для труб из предварительно напряженного железобетона  $t = 0,05 D + 0,025$  м;

1.8. Размеры элементов для железобетонных прямоугольных труб:

- размеры отверстия типовых труб принимаются в соответствии с таблицей 1.1

Таблица 1.1

Отверстия типовых прямоугольных труб

Ширина отверстия, $b$ , м	1,0	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
Высота отверстия, $h$ , м	2,0	1,5	2,0	2,5	2,0	2,0	

- для труб из контурных звеньев длина звена принимается:

при ширине отверстия до 1,25 м - 2,0 м;

при ширине отверстия до 3,0 м - 1,0 м;

при ширине отверстия более 3,0 м - 0,75 м, 1,0 м.

- контурные звенья объединяются в секции по 3 - 4 звена, высота входной

секции может быть увеличена на 0,5 м;

- толщина стенок поперечного сечения звеньев принимается постоянной,  $t = 0,1 b$ ;

- в углах сопряжения стенок с ригелем и лотком устраиваются вуты размером  $b_g \times h_g = 0,15 \times 0,15$  м.

- по продольной оси звена с верхней внешней грани устраивается подуклонка высотой  $h_n = 0,02b$ ;

- для труб из плитных элементов длина плит принимается- 3,0 м ;

- толщина ригеля и лотковой плиты назначается равной  $t_p = 0,1b$ , толщина стеновых плит  $t_c = 0,1h$ ;

1.9. Размеры элементов для круглых стальных гофрированных труб:

- размеры гофра при диаметре отверстия до 3 м -  $l \times h = 130 \times 32,5$  мм и толщине листа от 1,5 до 2,5 мм;

- при диаметре отверстия свыше 3 м -  $l \times h = 150 \times 50$  мм и толщине листа от 1,2 до 7,0 мм (см. рис. 1.1.);

- ширина листов по длине трубы для гофра  $130 \times 32,5$  мм - 975 мм, для гофра  $150 \times 50$ мм - 1150 мм;

- длина листов принимается в зависимости от диаметра отверстия и целого количества стыкуемых в нахлестку листов;

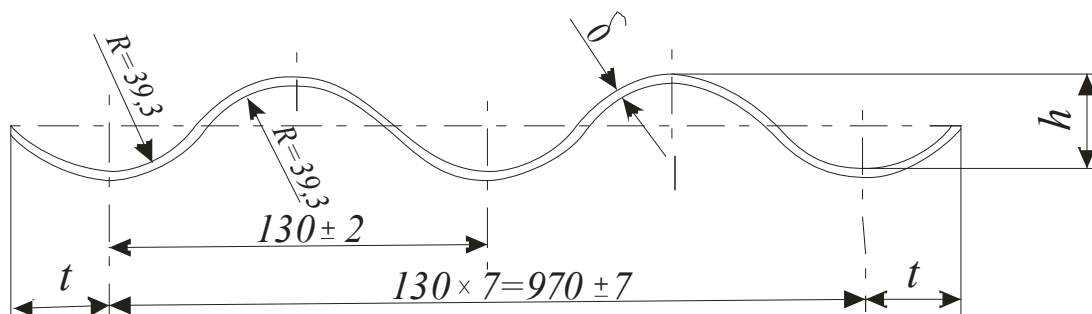


Рис. 1.1. Профили гофрированной стали для труб

1.10. В трубах с оголовками:

- размеры порталной стенки: ширина блока  $B_n = D(b) + t + 0,05$ (м); высота блока  $h_n = a + D(h) + 1,5$  (м); толщина блока  $b_n = 0,30 \div 0,35$  м; ширина пяты -  $2b_n$ . Здесь  $D, b, h$  - диаметр отверстия круглых, ширина и высота отверстия прямоугольных труб соответственно;  $t$ - толщина стенки звена;  $a$ - высота парапета портала  $a = t + 0,45$  м.

- размеры открылков: высота у портала  $h_{om} = h_n$ ; у свободной грани  $h'_{om} = 1,5 + 0,2$  (м); длина скошенной части  $l_{om} = 1,5 \times (h_{om} - h'_{om})$ ; толщина открылка  $0,25 \div 0,30$  м.

1.11. Тип и размер фундаментов в курсовом проекте задаются или назначаются самостоятельно, исходя из грунтовых условий и конструкции водопропускной трубы.

1.12. Размеры укреплений монолитным бетоном и сборными железобетонными плитами назначаются в зависимости от конструкции трубы, уклона лога и размеров оголовков;

1.13. В пояснительной записке назначенные размеры элементов трубы указываются на чертежах формата А4 не менее, чем в 2<sup>x</sup> проекциях с точностью- 10 мм для железобетонных элементов и 1 мм для металлических гофрированных труб.

1.14. Армирование элементов железобетонных труб и назначение толщины стенки металлических труб из гофрированной стали производится на основе выполненных статических расчетов. Назначение размеров и расположение конструктивной арматуры производится в соответствии со СНиП 2.05.03.-84\*.

1.15. Статический расчет водопропускных труб производится с действующими нормативными документами, а также справочной литературы и документами рекомендованными к использованию Министерством транспорта РФ. Ссылка на соответствующие документы приводится по тексту настоящих указаний.

## **2. РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ ТРУБ ПОД НАСЫПЯМИ ДОРОГ**

2.1. Расчетная схема трубы зависит от способности конструкции включаться в совместную работу с окружающей грунтовой средой. В общем случае принято различать жесткие трубы, к которым относятся все железобетонные, и гибкие из гофрированной стали. Жесткие не способны деформироваться под воздействием внешней нагрузки без образования трещин и разрушения. В гибких трубах за счет прогиба верхней части происходят деформации в направлении грунтовой среды, что приводит к образованию зоны упругого отпора грунта, которая включается в совместную работу с трубой.

2.2. Нормативными документами основными нагрузками при статическом расчете водопропускных труб приняты [1]: давление грунта насыпи и давление грунта от подвижного состава. Собственный вес и наличие воды в трубах из контурных звеньев и гофрированных трубах не учитывается. Для труб из плитных элементов согласно [6] следует дополнительно учитывать собственный вес и вес столба воды в трубе.

2.3. Вертикальное и горизонтальное давление грунта принимается равномерно распределенным по ширине и высоте трубы, что является не в полной мере соответствующим реальным условиям, но незначительно влияет на конечные результаты расчета.

2.4. В продольном направлении воздействие нагрузок рассматриваются на сечения равные 1 погонному метру трубы.

2.5. Расчетные схемы воздействия нагрузок показаны на рис. 2.1. для круглых труб и рис. 2.2. для прямоугольных труб.



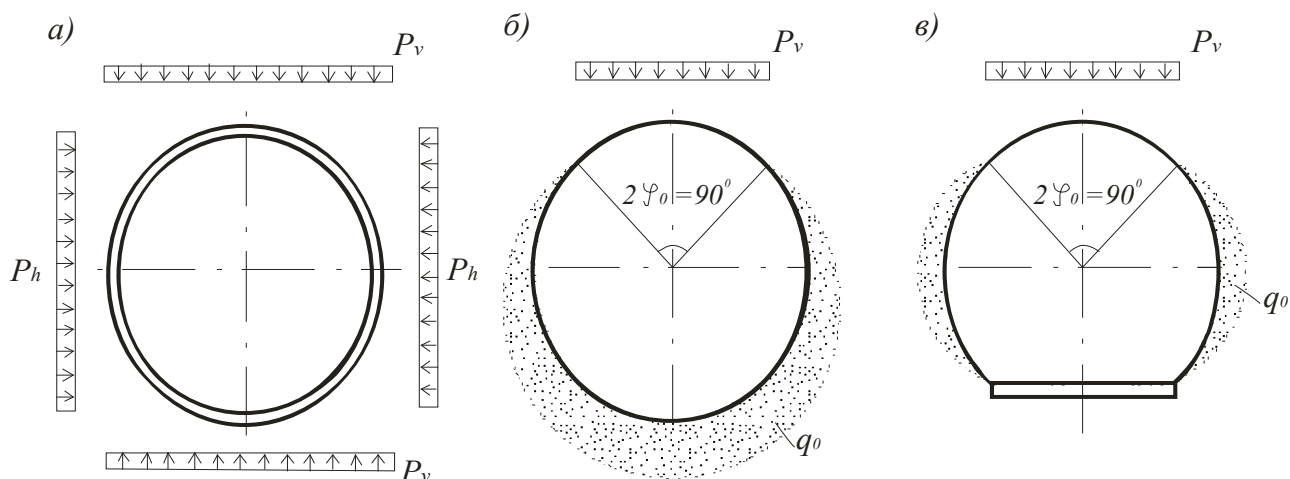


Рис. 2.1. Расчетные схемы круглых труб:

а) жестких железобетонных; б) и в) гибких из гофрированной стали

2.6. В расчетных схемах (см. рис. 2.1 б и в) для круглых труб из гофрированной стали угол без отпорной зоны принят  $2\varphi_0 = 90^\circ$ , а также не учитывается боковое давление грунта, что можно рассматривать как дополнительный запас надежности сооружения. Для труб большого диаметра (рис. 2.1 в) предусматривается шарнирное закрепление гофрированной стали в пределах от  $\frac{1}{4}$  до  $\frac{1}{3}$  диаметра от подошвы трубы.

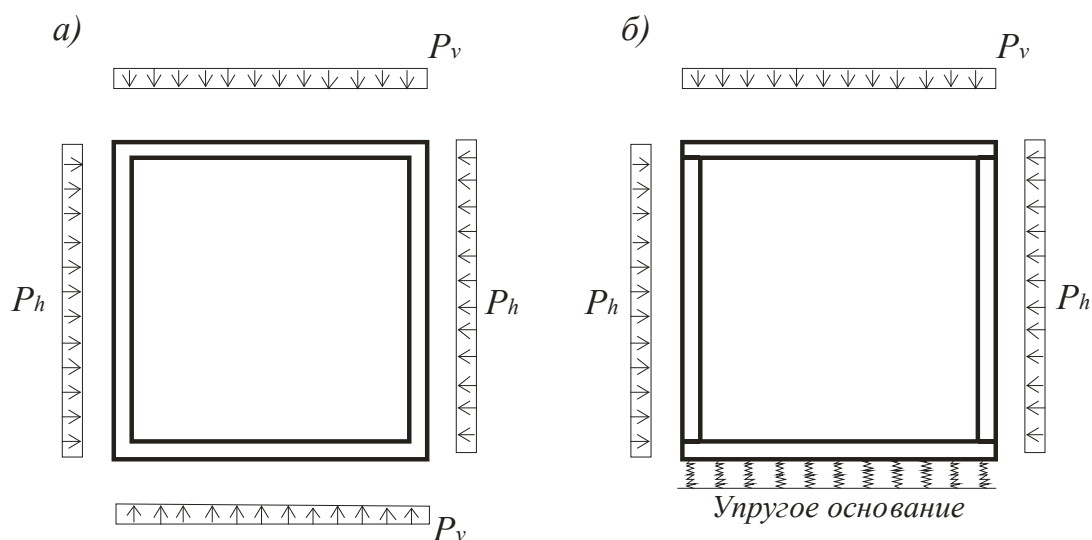


Рис. 2.2. Расчетные схемы прямоугольных труб:

а) железобетонных из цельносекционных блоков;

б) железобетонных из плитных элементов

2.7. Для прямоугольных железобетонных труб из цельносекционных блоков (см. рис 2.2 а) расчетная схема представляет собой замкнутую раму, испытывающую вертикальное горизонтальное активное давление грунта, а также реактивное давление со стороны лотка. В трубах из плитных элементов

(см. рис. 2.2 б) расчетная схема принимается в виде четырехшарнирной рамы, лотковая плита которой расположена на упругом основании.

### 3. РАСЧЕТНЫЕ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТЫ ТРУБ

3.1. При расчете труб под насыпями рассматриваются давления на элементы тела трубы от грунта засыпки и от давления грунта от подвижного состава временной нагрузки.

3.2. Воздействия временной транспортной нагрузки следует рассмотреть в следующих вариантах:

- временная нагрузка над трубой и обеими призмами обрушения;
- временная нагрузка над трубой;
- временная нагрузка от построечного транспорта при минимальной засыпке над трубой.

3.3. Нормативное вертикальное давление грунта от веса насыпи на звенья труб определяется в соответствии с [1] и [2] по формуле:

$$P_{vp} = C_v \times \gamma_n \times h, \text{ кПа}, \quad (3.1)$$

где  $\gamma_n$  — нормативный удельный вес грунта,  $\text{кН/м}^3$ ;  
 $h$  - высота засыпки от подошвы рельса или верха дорожной одежды до верха звена, которая должна быть не менее 1 м на железных и 0,5 м на автомобильных дорогах, м [1];  
 $C_v$  - коэффициент вертикального давления, определяемый в соответствии с [1] по формуле:

$$C_v = 1 + B \times (2 - B \times \frac{d}{h}) \times \tau_n \times \text{tg} \varphi_n, \quad (3.2)$$

где  $\varphi_n$  - нормативный угол внутреннего трения грунта засыпки трубы;  
 $\tau_n$  - коэффициент нормативного горизонтального (бокового) давления грунта засыпки, определяемый по формуле:

$$\tau_n = \text{tg}^2(45^\circ - \varphi_n/2), \quad (3.3)$$

где  $d$  - диаметр (ширина) звена (секции) по внешнему контуру, м;  
 $B$  - коэффициент, определяемый по формуле:

$$B = \frac{3}{\tau_n \times \text{tg} \varphi_n} \times \frac{S \times a}{h}, \quad (3.4)$$

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

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

3.4. При расчете гибких (из гофрированной стали) звеньев (секций) труб коэффициент  $C_v$  принимается равным единице.

3.5. Нормативное горизонтальное (боковое) давление грунта от веса насыпи определяется в соответствии с [1] и [2] по формуле:

$$P_{hp} = \gamma_n \times h_x \times \tau_n, \text{ кПа}, \quad (3.5)$$

где  $h_x$  - высота засыпки до середины звеньев (секций) трубы, м.

Остальные обозначения в соответствии с п. 2.2.3.

3.6. Нормативное давление грунта от подвижного состава на звенья (секции) труб на соответствующую проекцию внешнего контура трубы следует определять с учетом распределения давления нагрузки в грунте в соответствии [1] и [2] по формулам:

- вертикальное давление от подвижного состава железных дорог:

$$P_{vск} = \frac{v}{2,7 + h}, \text{ кПа}, \quad (3.6)$$

где  $v$  - интенсивность временной вертикальной нагрузки от подвижного состава железных дорог СК, принимается по эквивалентным нагрузкам приложения [1] для длины заграждения  $\lambda = d + h$  и положения вершины линии влияния  $\alpha = 0,5$ , но не более 19,6 К, кН/м,  $K = 14$  [7] для капитальных сооружений:

- вертикальное давление от транспортных средств автомобильных дорог при высоте засыпки 1 м и более:

$$P_{vск} = \frac{\psi}{a_0 + h}, \quad (3.7)$$

где  $\psi$  - линейная нагрузка от НК принимается равной 18К кН/м,  $K = 14$  для вновь строящихся сооружений;

$a_0$  - длина участка распределения, принимается  $a_0 = 3$  м.

- горизонтальное давление от подвижного

$$P_{hск(нк)} = P_{vск(нк)} \times \tau_n. \quad (3.8)$$

3.7. Полное нормативное вертикальное и горизонтальное давление на звенья (секции) труб является суммой давлений от веса насыпи и от подвижного состава

$$P_v^H = P_{vp} + P_{vск(нк)}; \quad (3.9)$$

$$P_h^H = P_{hp} + P_{hск(нк)}. \quad (3.10)$$

Полное расчетное вертикальное и горизонтальное давление на звенья (секции) труб принимается с коэффициентами надежности по нагрузке и динамическим коэффициентом  $(1 + \mu)$

$$P_v = \gamma_f \times P_{vp} + \gamma_f \times (1 + \mu) \times P_{v \text{ ск (нк)}} ; \quad (3.11)$$

$$P_h = \gamma_f \times P_{vp} + \gamma_f \times (1 + \mu) \times P_{v \text{ ск (нк)}}. \quad (3.12)$$

Коэффициент надежности для давления от грунта насыпи в соответствии с [1] принимается  $\gamma_f = 1,3$ ;

Коэффициент надежности для давления грунта от подвижного состава в соответствии с [1]:

- для нагрузки СК, вертикальное  $\gamma_f = 1,30$ , горизонтальное  $\gamma_f = 1,20$ .

- для нагрузки НК  $\gamma_f = 1,00$  ;

Динамические коэффициенты  $(1 + \mu)$ :

- для нагрузки СК при засыпке 0,4 м и менее, по формуле:

$$(1 + \mu) = 1 + \frac{10}{20 + \lambda}, \text{ но не менее } 1,00 \quad (3.13)$$

- для нагрузки СК при засыпке 1,00 м и более:

$$(1 + \mu) = 1,00$$

- для нагрузки НК при засыпке свыше 1,0 м:

$$(1 + \mu) = 1,00$$

#### 4. РАСЧЁТ КРУГЛЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБ

4.1. В соответствии с [1], круглые жесткие железобетонные трубы допускается рассчитывать на воздействие изгибающих моментов в замковом, сечении трубы без учета нормальных и поперечных сил. Нормативные и расчетные изгибающие моменты на  $b = 1,0$  м длины звена определяются по формулам:

$$M^n = r_d^2 \times P_v^n \times (1 - \tau_n) \times \delta, \text{ кН}\cdot\text{м} ; \quad (4.1)$$

$$M = r_d^2 \times P_v \times (1 - \tau_n) \times \delta, \text{ кН}\cdot\text{м}, \quad (4.2)$$

где  $r_d$  - средний радиус звена, м;

$P_v^n$ ,  $P_v$  - соответственно нормативное и расчетное вертикальное давление на звено;  $\delta$  - коэффициент, принимаемый в зависимости от условия опирания на грунт, принимаемый  $\delta = 0,25$  при грунтовом профилированном основании или при уплотненной песчаногравийной подушке,  $\delta = 0,22$  при бетонном фундаменте, а также для труб с плоской пятой.

4.2. Для звеньев труб длиной более 2,0 м необходимо проводить расчет и в продольном направлении. При этом звено трубы рассматривают как жесткую балку на упругом основании, имеющую ширину равную внешнему диаметру. Расчетный изгибающий момент в среднем сечении вычисляется по формуле:

$$\bar{M} = 0,02 \times P_v \times d \times l^2, \text{ кН}\cdot\text{м}, \quad (4.3)$$

где  $l$  - длина звена, м;

$d$  - диаметр звена по внешнему контуру, м.

4.3. Расчет на прочность продольного сечения стенки трубы выполняется, исходя из расчетного сечения стенки трубы рисунка 4.1.

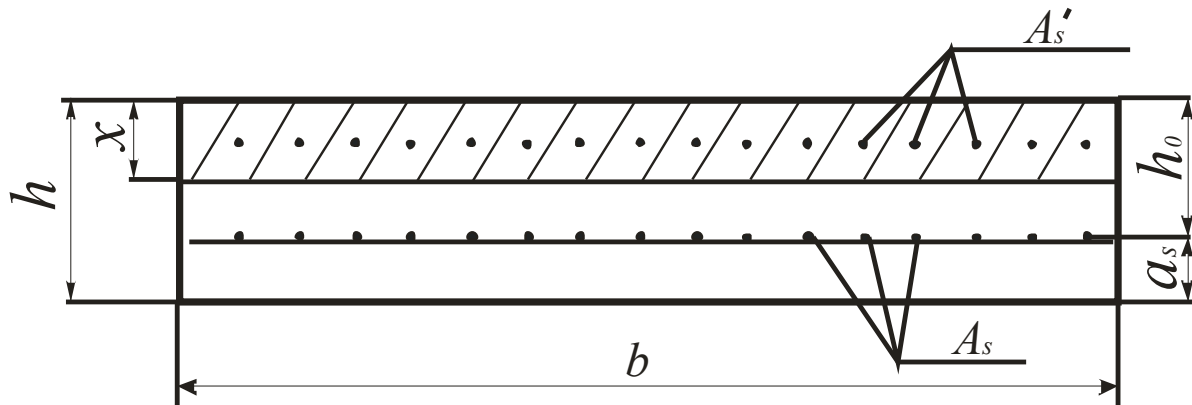


Рис. 4.1. Расчётное сечение

Расчет выполняется в следующем порядке:

Предварительно назначается площадь рабочей (спиральной арматуры на  $b=1$  м.п. звена по формуле:

$$A_s^{mp} = \frac{M}{z \times R_s}, \text{ м}^2, \quad (4.4)$$

где  $M$  - расчетный изгибающий момент, кНм;

$R_s$  - расчетное сопротивление спиральной арматуры, МПа;

$z$  - плечо внутренней пары сил, на первом этапе  $z \approx 2/3 h$ .

Определяется необходимое количество витков рабочей арматуры. Задается диаметр ( $d_s$ ) и класс (А-II или А-III) арматуры. Количество витков определяют по формуле 4.5, с округлением до целого числа в большую сторону:

$$n = A_s^{mp} / A_{s1}, \quad (4.5)$$

где  $A_{s1}$  — площадь поперечного сечения одного стержня,  $\text{м}^2$ .

Фактическая площадь арматуры:  $A_s = n \times A_{s1}, \text{ м}^2$ .

Определение и проверка высоты сжатой зоны бетона (без учета сжатой арматуры  $A_s'$ ):

$$x = \frac{R_s \times A_s}{R_b \times b}, \text{ м}, \quad (4.6)$$

где  $R_b$ - расчетное сопротивление бетона осевому сжатию, МПа;

$b$  - ширина сечения, согласно условиям определения изгибающего момента

$b=1,0$  м.

Проверка условия относительной высоты сжатой зоны бетона:

$$E = \frac{x}{h_0} \leq E_y = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \times (1 - \frac{\omega}{1,1})}, \quad (4.7)$$

где  $\omega = 0,85 - 0,008 \times R_b$ ;  
 $\sigma_1 = R_s$ ;  
 $\sigma_2 = 500$  МПа.

$$h_o = h - a_s = h - (a_o + d_n + 0,5d_s), \text{ м}, \quad (4.8)$$

где  $a_o$  - толщина защитного слоя бетона;  
 $d_n$  - диаметр продольной арматуры.

Если условие (4.7) не выполняется, производится переармирование путем снижения количества витков арматуры.

Расчет прочности продольного сечения стенки трубы производится по формулам:

$$M \leq R_b \times b \times x \times (h_o - 0,5x), \text{ если } x < a_s' = a_o + 0,5d_s' \quad (4.9)$$

$$M \leq R_b \times b \times x \times (h_o - 0,5x) + R_{sc} \times A_s' \times (h_{o1} - a_s'), \text{ если } x \geq a_s' = a_o + 0,5d_s' \quad (4.10)$$

Здесь характеристики верхней (сжатой) арматуры следует принимать  $d_s' = d_s$ ;  $R_{sc} = R_s$ ;  $A_s' = A_s$ .

4.4. Расчет по раскрытию нормальных трещин в продольном сечении стенки трубы производится в соответствии с п. 3.105 [1] по формуле:

$$a_{cr} = \frac{\sigma_s}{E_s} \times \psi \leq \Delta_{cr}, \quad (4.11)$$

где  $a_{cr}$  - ширина раскрытия нормальных к продольной оси трещин по категориям требований по трещиностойкости  $3в$ , см;  
 $\Delta_{cr}$  - предельное значение расчётной ширины раскрытия трещины, в соответствии с п. 3.95 [1],  $\Delta_{cr} = 0,03$  см;  
 $E_s$  - модуль упругости ненапрягаемой арматуры, МПа;  
 $\sigma_s$  - растягивающие напряжения в наиболее растянутых стержнях, МПа;

$$\sigma_s = \frac{M^H}{z \times A_s}, \quad (4.12)$$

где  $z = h_o - 0,5 \times x$  - плечо внутренней пары сил, м;

$\Psi$  - коэффициент раскрытия трещин, см. Определяется в соответствии с п. 3.109 [1].

$$\psi = 1,5 \times R_r^{0,5}, \quad (4.13)$$

где  $R_r$  - радиус армирования, см. Определяется по формуле:

$$R_r = \frac{A_r}{n_s \times d_s}, \quad (4.14)$$

где  $A_r$  - площадь зоны взаимодействия бетона и арматуры, см<sup>2</sup>:

$$A_r = (6d_s + a_s) \times b, \quad (4.15)$$

4.5. Расчёт на прочность кольцевого сечения трубы.

При расчёте звена трубы в продольном направлении, прочность кольцевого сечения обеспечивается при соблюдении условия:

$$\overline{M} \leq \overline{M}_{\text{пр.}} = \frac{r_d}{\pi} \times (R_b \times A_{b\text{пр.}} + R_s \times A_{s\text{пр.}}) \times \sin(\pi \times \varepsilon_0), \quad (4.16)$$

где  $\overline{M}_{\text{пр.}}$  - предельный изгибающий момент, воспринимаемый кольцевым сечением трубы.

$\varepsilon_0$  - коэффициент, определяемый по формуле:

$$\varepsilon_0 = \dots, \quad (4.17)$$

где  $A_{b\text{пр.}}$  - площадь сечения бетонного кольца, м<sup>2</sup>:

$$A_{b\text{пр.}} = 2 \times \pi \times r_d \times h, \quad (4.18)$$

$A_{s\text{пр.}}$  - площадь сечения всей продольной арматуры, м<sup>2</sup>.

$$A_{s\text{пр.}} = \dots, \quad (4.19)$$

Количество стержней продольной арматуры  $n_n$  назначается из условия количества стержней  $d_n = 8$  мм на одну спираль:

- при диаметре трубы 1,0 м  $n = 10 \div 15$ ;
- при диаметре трубы 2,0 м  $n = 15 \div 30$ .

Промежуточные значения принимаются по интерполяции.

## 5. РАСЧЕТ КРУГЛЫХ ТРУБ С НАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРОЙ

5.1. Расчёт круглых труб с напрягаемой арматурой необходимо начать с назначения требуемой площади спиральной арматуры.

Предварительное определение требуемой площадью спиральной арматуры на I пог. м стенки трубы производят по формуле:

$$A_p^{mp} = \frac{\zeta \times M}{R_p \times h}, \quad \text{м}^2, \quad (5.1)$$

где  $\zeta = 4$  - безразмерный коэффициент;

$h$  - толщина стенки трубы;

$R_p$  - расчетное сопротивление спиральной арматуры растяжению, ([I], п. 3.37), МПа.

Назначают диаметр спиральной арматуры  $d_p$  и вычисляют соответствующую площадь поперечного сечения  $A_{p1}$ , м<sup>2</sup>.

Определяют количество витков на I пог. м расчетного продольного сечения стенки трубы и округляют до целого числа  $n_p$ :

$$n_p = \frac{A_p^{mp}}{A_{p1}}. \quad (5.2)$$

Уточняют величину общей площади спиральной арматуры:

$$A_p = \overline{n_p} \times A_{p1}, \quad \text{м}^2 \quad (5.3)$$

и вычисляют шаг витков  $t = b / \bar{n}_p$ , см,  $b = 100$  см.

Необходимо соблюдать следующие условия:

$$t_{\min} = 1,0 + d_p, \quad t_{\max} = 0,5 \times (h - a_0), \quad (5.4)$$

где  $h$  - толщина стенки трубы, см;

$d_p$  - диаметр арматурной проволоки, см;

$a_0$  - толщина защитного слоя бетона,  $a_0 = 1,5$  см.

## 5.2. Геометрические характеристики продольного сечения стенки трубы.

Схема геометрических характеристик сечения стенки трубы приведена на рис. 5.1.

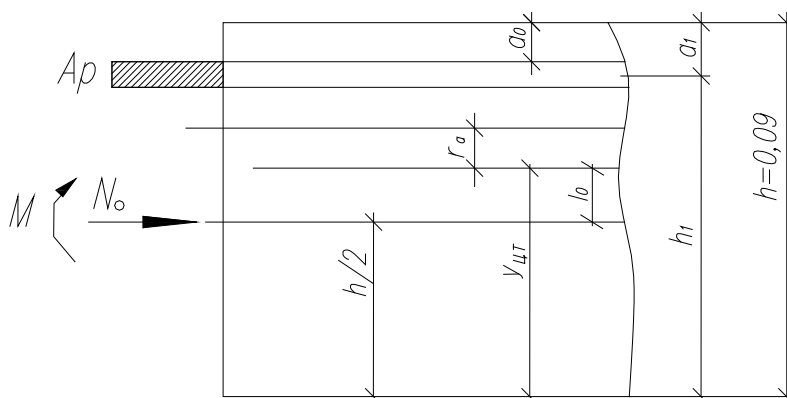


Рис. 5.1. Схема геометрических характеристик сечения стенки трубы

Определяют последовательно необходимые в дальнейшем геометрические характеристики расчетного сечения.

Площадь приведенного сечения определяется по формуле:

$$A_{red} = A_g + \frac{E_p}{E_b} \times A_p, \quad \text{м}^2, \quad (5.5)$$

где  $A_g$  - площадь бетона расчетного сечения,  $\text{м}^2$ ;

$E_p$  - модуль упругости арматуры, принимается по [I], п.3.47;

$E_b$  - модуль упругости бетона, принимается по [I], п. 3.32.

Статический момент приведенного сечения относительно внутренней грани определяется по формуле:

$$S_{red} = \frac{b \times h^2}{2} + n \times A_p \times (h - a_1), \quad \text{м}^3, \quad (5.6)$$

где  $a_1$  - расстояние от наружной грани до центра тяжести спиральной арматуры,  $a_1 = a_0 + 0,5 \times d_p$ , м;

$a_0$  - толщина защитного слоя, м.



Расстояние от внутренней грани до центра тяжести приведенного сечения:

$$Y_{у.м.} = S_{red} / A_{red} , \text{ м} \quad (5.7)$$

Момент инерции продольного приведенного сечения относительно оси, проходящей через центр тяжести:

$$Y_{red} = \frac{e \times h^3}{12} + e \times h \times (Y_{у.м.} - \frac{h}{2})^2 + n \times A_p \times (h - Y_{у.м.} - a_1)^2 , \text{ м}^4 \quad (5.8)$$

Момент сопротивления продольного приведенного сечения стенки трубы для внутренней грани:

$$W_{red}^T = a \times \frac{J_{red}}{Y_{у.м.}} , \text{ м}^3 , \quad (5.9)$$

где  $a$  - коэффициент, учитывающий развитие пластических деформаций бетона,  $a = 1,75$ .

Расстояние между точками приложения силы обжатия и центром тяжести приведенного сечения (эксцентриситет).

$$l_0 = Y_{у.м.} - \frac{h}{2} , \text{ м} \quad (5.10)$$

Положение условной ядерной точки, наиболее удаленной от зоны сечения, проверяемой по образованию трещин:

$$r_l = W_{red} / A_{red} , \text{ м} , \quad (5.11)$$

где  $W_{red}$  - момент сопротивления сечения без учета развития пластических деформаций.

### 5.3. Потери предварительного напряжения спиральной арматуры.

Потери от релаксации напряжений в арматуре:

$$\sigma_1 = (0,22 \times \frac{\sigma_p}{R_{pser}} - 0,1) \times \sigma_p , \text{ МПа} , \quad (5.12)$$

где  $\sigma_p$  - предварительное напряжение в арматуре, без учета потерь, соответствующее нулевым напряжениям в бетоне, определяется по формуле:

$$\sigma_p = 0,85 \times R_p , \text{ МПа} , \quad (5.13)$$

где  $R_{pser}$  - расчетное сопротивление (фактическое) спиральной арматуры класса В-II ([I], п.3.37), МПа .

Если вычисленное значение  $\sigma_1$  окажется отрицательным, то его следует принять равным нулю.

Потери предварительного напряжения в арматуре, вызванные деформацией бетона от быстроснатекающей ползучести:

$$\sigma_2 = 40 \times \frac{\sigma_{ep}}{R_{ep}} \quad \text{при} \quad \frac{\sigma_{ep}}{R_{ep}} \leq 0,8 ,$$

$$\sigma_2 = 32 + 94 \times \left( \frac{\sigma_{ep}}{R_{ep}} - 0,8 \right) \quad \text{при} \quad \frac{\sigma_{ep}}{R_{ep}} > 0,8 ,$$
(5.14)

где  $R_{bp}$  - прочность бетона в момент передачи усилия сжатия, которую принимают равной 0,9 от прочности заданного проектного класса бетона;  
 $\sigma_{bp}$  - напряжение в бетоне на уровне центра тяжести спиральной арматуры, определяемые по формуле:

$$\sigma_{ep} = \frac{N_{0l}}{A_{red}} - \frac{N_{0l} \times l_0 \times y}{J_{red}} , \text{ МПа} ,$$
(5.15)

где  $N_{0l}$  - начальное усилие, передающееся на бетон от спиральной арматуры с учетом потерь от релаксации напряжений в арматуре:

$$N_{0l} = (\sigma_p - \sigma_1) \cdot A_p , \text{ кН} ,$$
(5.16)

где  $y$  - расстояние от центра тяжести приведенного сечения до центра тяжести спиральной арматуры:

$$y = h - (Y_{u.m.} + a_1) , \text{ м} .$$
(5.17)

Потери предварительного напряжения в спиральной арматуре, вызванные деформациями ползучести бетона:

$$\sigma_3 = 150 \frac{\sigma'_{ep}}{R_{ep}} \quad \text{при} \quad \frac{\sigma_{ep}}{R_{ep}} \leq 0,75 , \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = 300 \left( \frac{\sigma_{ep}}{R_{ep}} - 0,375 \right) \quad \text{при} \quad \frac{\sigma_{ep}}{R_{ep}} > 0,75 , \text{ МПа}$$
(5.18)

где  $\sigma'_{ep}$  - тот же, что в предыдущем пункте, но с учетом потерь  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ .

Потери напряжения в спиральной арматуре от усадки виброгидропрессованного бетона принимают по табл. 5.1 в зависимости от класса бетона

Таблица 5.1

Усадка бетона	Класс бетона по прочности на сжатие		
	В30	В40	В50
$\sigma_4$ , МПа	15	20	25

Суммарная величина потерь напряжения в арматуре рассчитывается по формуле:

$$\sum \sigma_i = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 , \text{ МПа}$$
(5.19)

#### 5.4. Определение величины опрессовочного давления.

Величину опрессовочного давления вычисляют по формуле:

$$P_0 = \frac{1,1 \times N_{0l}}{e \times r_a} + P_n, \text{ МПа}, \quad (5.20)$$

где  $N_{0l}$  - усилие обжатия, кН;

$P_n$  - величина потерь опрессовочного давления,  $P_n = 0,3$  МПа;

$e$  - ширина расчетного продольного сечения стенки трубы,  $e = 1$  м;

$r_a$  - радиус окружности, по которой располагается центр тяжести спиральной арматуры,  $r_a = 0,5d - a_1$ , м.

### 5.5. Расчет неотрывности бетона защитного слоя.

Величину радиального напряжения определяют по формуле:

$$\sigma_z = \frac{0,9 \times t}{t - d_p} \times (P_0 - P_{II}) \times A, \text{ МПа}, \quad (5.21)$$

где  $A$  - коэффициент, вычисляемый по формуле:

$$A = \frac{1}{1 + 1,1 \times \frac{B}{C} \times (1 + m_0 \times c)}, \quad (5.22)$$

$$\text{где } B = \frac{1,2 \times m_1^2 + 0,7}{m_1^2 - 1}, \quad C = \frac{0,7 \times m_2^2 + 1,2}{m_2^2 - 1}, \quad (5.23)$$

$$m_0 = \frac{E_p \cdot A_p}{0,9 E_e \cdot r_a \cdot e}, \quad m_1 = 0,5 \frac{d}{r_a}, \quad m_2 = 2 \frac{r_a}{d_0}, \quad (5.24)$$

где  $E_p$  и  $E_b$  - модули упругости соответственно напрягаемой арматуры и бетона, МПа.

Неотрывность защитного слоя бетона будет обеспечена, если соблюдается условие:

$$\delta_r \leq \frac{R_{bt,ser}}{K}, \text{ МПа}, \quad (5.25)$$

где  $R_{bt,ser}$  - расчетное сопротивление бетона осевому растяжению, МПа, ([I], п. 3.24);

$K$  - коэффициент концентрации напряжений в бетоне,  $K = 3$ .

### 5.6. Расчет на прочность продольного сечения стенки трубы.

Расчет выполняется по первой группе предельных состояний на воздействие расчетного изгибающего момента  $M$  от давления грунта засыпки и соответствующей транспортной нагрузки (для автомобильных дорог Н-14).

Прочность будет обеспечена, если соблюдается следующее условие:

$$\delta_{Bt} = \frac{M}{W_{red}^T} - \frac{N_0}{A_{red}} + \frac{N_0 \times l_0}{W_{red}^T} \leq R_{bt}, \text{ МПа}, \quad (5.26)$$

где  $R_{Bt}$  - расчетное сопротивление бетона осевому растяжению, МПа;

$N_0$  - сила обжатия бетона после проявления всех потерь определяется по формуле:

$$N_0 = (\delta_p - \sum \delta_i) \times A_p, \text{ кН} \quad (5.27)$$

### 5.7. Расчет на трещиностойкость продольного сечения стенки трубы.

Проверку трещиностойкости виброгидропрессованных труб выполняют по формуле:

$$M^H \leq R_{bt,ser} \times W_{red}^T + M_{OB}^Я, \text{ кНм}, \quad (5.28)$$

где  $R_{bt,ser}$  - расчетное сопротивление бетона осевому растяжению при расчетах по второй группе предельных состояний, МПа ;

$W_{red}^T$  - приведенный момент сопротивления расчетного сечения с учетом развития пластических деформаций, м<sup>3</sup>.

Момент силы обжатия относительно ядровой точки определяют по формуле

$$M_{об}^Я = N_0 \times (l_0 + r_я), \text{ кНм} \quad (5.29)$$

### 5.8. Расчет прочности кольцевого сечения трубы.

При расчете труб, изготавливаемых по одноступенчатой технологии способом виброгидропрессования, все сечения рассматривают как монолитные.

Расчет выполняют в следующей последовательности.

Определяют величину предварительного напряжения продольной арматуры

$$\sigma_{pk} = 0,75 \times R_p, \text{ МПа}, \quad (5.30)$$

где  $R_p$  - расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению, МПа.

Полагая, что потери предварительно напряжения в продольной арматуре составляют около 15%, величину предварительно напряжения определяют по формуле

$$\sigma_{pk} = 0,85 \times \sigma_{pk}, \text{ МПа} \quad (5.31)$$

Силу обжатия от одного арматурного стержня вычисляют по формуле

$$N_{0l} = \sigma'_{pk} \times A_{pl}, \text{ кН}, \quad (5.32)$$

где  $A_{pl}$  - площадь поперечного сечения одного стержня продольной арматуры, м<sup>2</sup>.

Требуемую (минимальную) величину силы обжатия кольцевого сечения определяют по формуле:

$$N_{ok} = \sigma'_{bk} \times A_{bk}, \text{ кН}, \quad (5.33)$$

где  $\sigma'_{Bk}$  - минимальная допустимая величина напряжений обжатия бетона в кольцевом (поперечном) сечении трубы, зависящая от класса бетона (табл. 5.2).

$A_{\text{ок}}$  - площадь кольцевого сечения трубы, определенная по формуле:

$$A_{\text{ок}} = \frac{\pi}{4}(d^2 - d_0^2), \quad \text{м}^2 \quad (5.34)$$

Таблица 5.2

Класс бетона	B30	B35	B40	B45	B50
$\sigma'_{bk}$ , МПа	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50

Требуемое число стержней продольной напрягаемой арматуры определяется по формуле:

$$m = N_{\text{ок}} / N_{\text{of}}. \quad (5.35)$$

Полученный результат округляют до целого числа.

Прочность звена трубы, при работе под нагрузкой в продольном направлении, будет обеспечена, если соблюдается следующее условие:

$$\sigma_{\text{ае}} = -\frac{N_{\text{ок}}}{A_{\text{ае}}} + \frac{\overline{M}}{W_{\text{ае}}} \leq R_{\text{ат}}, \quad (5.36)$$

где  $W_{\text{ок}}$  - момент сопротивления кольцевого сечения (без учета развития пластических деформаций бетона). Вычисляют по формуле:

$$W_{Bk} = \frac{\pi}{32} \left( \frac{d^4 - d_0^4}{d} \right), \quad \text{м}^3, \quad (5.37)$$

где  $R_{\text{ат}}$ , - расчетное сопротивление бетона своему растяжению, принимается по ([1], п.3.24), с коэффициентом 1,20.

## 6. РАСЧЁТ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГОФРИРОВАННЫХ ТРУБ

### 6.1. Расчет конструкции по предельному равновесию.

Условие, гарантирующее конструкцию в эксплуатации от наступления первого предельного состояния, характеризуемого предельным статическим равновесием взаимодействующей системы «конструкция – грунт», должно удовлетворяться неравенством:

$$q \leq q_p, \quad \text{кПа}, \quad (6.1)$$

где  $q$  - интенсивность вертикального давления грунта на трубу от постоянных и временных нагрузок с учетом коэффициентов перегрузки согласно действующим нормам,  $q = P_v$ ;

$q_p$  - расчетная несущая способность трубы в грунте, т.е. интенсивность предельно допустимой нагрузки из условия предельного статического равновесия рассчитываемой системы.

Расчетную несущую способность трубы  $q_p$  определяют по формуле ([2],

приложение 11, п. 1):

$$, \text{ (кгс/см}^2\text{)}, \quad (6.2)$$

где – коэффициент увеличения несущей способности трубы за счет упругого отпора окружающего грунта;

– расчетная несущая способность трубы вне грунта для рекомендуемых сталей, кгс/см<sup>2</sup>;

$W$  – момент сопротивления продольного сечения (вдоль трубы) брутто стенки на единицу длины трубы ([3], приложение Б);

$D$  – диаметр трубы по средней линии гофров, ;

– обобщенный показатель жесткости взаимодействующей системы «конструкция - грунт», см<sup>2</sup>/кгс;

- компрессионный модуль деформации грунта засыпки, принимаемый на основе компрессионных испытаний в одометре при интервале давлений (0,5 ÷ 1 кгс/см<sup>2</sup>).

## 6.2. Проверка общей устойчивости формы поперечного сечения трубы.

Расчет трубы на общую устойчивость формы поперечного сечения производят из условия сжатия трубы равномерно распределенным по ее периметру нормальным давлением грунта засыпки, принимаемым равным расчетной интенсивности  $q$  вертикального давления на трубу от постоянных и временных нагрузок. Условие устойчивости удовлетворяется неравенством:

$$\frac{N}{\varphi \times F} \leq m_2 \times R_0. \quad (6.3)$$

где  $N = \frac{q \times D}{2}$  – расчетное осевое сжимающее усилие на единицу длины стенки трубы, кгс/см;

$F$  – площадь продольного сечения стенки на единицу длины трубы,  $\frac{\text{см}^2}{\text{см}}$  ([3], приложение Б);

$m_2$  – коэффициент условий работы, учитывающий условность расчетной схемы и начальные несовершенства конструкции, принимается равным 0,7;

$R_0$  – основное расчетное сопротивление стали при действии осевых сил,

$R_0 = 2400 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$  ([3], приложение Б);

– коэффициент понижения несущей способности, вводимый для предотвращения потери устойчивой формы равновесия гибкой трубы в упругой грунтовой среде;

$\sigma_T$  – предел текучести стали, ([2], приложение 11, п. 2);

- критическое напряжение в стенке трубы, кгс/см<sup>2</sup>, которое следует принимать в зависимости от гибкости трубы  $\lambda$ .

$$\lambda = \frac{k' \times D}{r}. \quad (6.4)$$

где  $r$  - радиус инерции продольного сечения стенки трубы, см ([3], приложение Б);  
 $k$  - коэффициент гибкости, принимаемый в зависимости от геометрического параметра  $\frac{D^2}{I}$  и модуля деформации грунта засыпки, ([2], приложение 11, табл. 1).

$$\text{при } \frac{\lambda_0}{2} < \lambda < \lambda_0,$$

где  $\lambda_0$  - предельное значение гибкости;  
 $a$  и  $b$  – постоянные при проверке устойчивости формы поперечного сечения трубы ([2], приложение 11, п. 2)  $\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$ .

### 6.3. Определение предельных деформаций поперечного сечения трубы.

Предельное относительное увеличение горизонтального диаметра трубы, отвечающее моменту предельного статического равновесия рассчитываемой системы, определяют по формуле:

(6.5)

где  $R$  – нормативная несущая способность трубы,  $\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$ ;

$E$  – модуль упругости стали  $\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$ ;

$I$  – момент инерции продольного сечения стенки на единицу длины трубы,  $\frac{\text{см}^4}{\text{см}}$  ([3], приложение Б).

Подсчитанная деформация должна удовлетворять условию:

(6.6)

где  $M$  – изгибающий момент в стенке трубы, соответствующий образованию пластического шарнира, кгс·см/см;

$M_p$  – пластический момент сопротивления продольного сечения стенки на единицу длины трубы.

Предельное относительное уменьшение вертикального диаметра определяют через деформацию горизонтального диаметра:

(6.7)

Значения предельных деформаций поперечного сечения трубы, соответствующие моменту предельного статического равновесия рассчитываемой системы, определяют в целях использования их в дальнейшем для оценки состояния построенного сооружения в эксплуатационных условиях.

### 6.4. Расчет стыковых соединений.

Расчет продольных стыков внахлестку с соединениями на обычных (невысокопрочных) болтах нормальной точности основан на предположении,

что все сдвигающие усилия в стыке воспринимаются болтами.

Трение по контактными поверхностям соединяемых элементов не учитывается.

Расчет болтовых соединений продольных стыков производится на суммарные, сдвигающие усилия от действия осевой сжимающей силы и изгибающего момента, соответствующего образованию пластического шарнира в стенке трубы.

Расчет ведется в предположении, что усилия между всеми болтами соединения распределяются равномерно.

Расчетное сдвигающее усилие на один болт  $S$  определяется по формуле:

$$S = a \times \frac{N}{n}, \quad (6.8)$$

где  $n$  - число болтов в соединении на единицу длины трубы;

$N$  – расчетное осевое сжимающее усилие на единицу длины стенки трубы,  $\frac{\text{кгс}}{\text{см}}$ .

$a = 1,2$  – коэффициент, учитывающий увеличение сдвигающего усилия в соединении от действия изгибающего момента.

Прочность болтового соединения проверяется по формулам:

- при расчете на смятие кромок отверстий в соединяемых элементах:

$$(6.9)$$

- при расчете на срез болтов:

$$(6.10)$$

где  $\delta$  – толщина листа стыкуемых элементов;

$d$  – номинальный диаметр болта;

$m_2$  – коэффициент условий работы соединения; для стыков со специальными шайбами ([2], п. 4.42)  $m_2 = 1,3$  при расчете на смятие и  $m_2 = 0,9$  при расчете на срез;

– расчетные сопротивления для болтового соединения при работе кромок стыкуемых элементов на смятие и болта на срез, ([2], п. 2.4).

6.5. Ограничение гибкости трубы по требованиям транспортирования и установки конструкции.

Для предупреждения чрезмерных деформаций гибкой стальной трубы в процессе ее возведения от воздействия на конструкцию грузоподъемных машин, монтажных механизмов и приспособлений, собственного веса самой конструкции, вспомогательных обустройств (настилов, подвесных подмостей) и т.п. должно выполняться условие:

$$\frac{D^2}{EI} \leq 0,112, \frac{\text{см}}{\text{кгс}}, \quad (6.11)$$

6.6. Расчет осадок труб и назначение строительного подъема.



Расчет осадок труб для точек под осью насыпи следует производить по графику ([2], приложение 11, п. 6), определяя расчетную осадку  $S_p$  по формуле:

$$S_p = \frac{100}{E} \times S_T, \quad (6.12)$$

где  $S_T$  – осадка основания при модуле деформации грунта  $E = 100 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$ ,  
 $S_T \approx 15 \text{ см}$  ([2], приложение 11, п. 6).

Исходными параметрами для расчета осадок должны быть: модуль деформации, объемная масса грунта и мощность геологических слоев в основании, высота насыпи.

Расчетную осадку  $S_p$  под осью насыпи следует сравнить с предельно допустимой осадкой  $S_n$ , определяемой по формуле:

$$S_n = 0,5 \times S_p + 0,75 \times i \times L, \quad (6.13)$$

где  $i$  - разница отметок лотка трубы на входе и выходе ( $i$  – уклон трубы,  $i = 0,03$  ([2], п. 4.8);

$L$  – длина трубы.

Строительный подъем назначают, определяя ординату под осью насыпи по формуле:

$$\Delta = S_p + 0,25 \times i \times L, \quad (6.14)$$

которая не должна превышать величины:

$$(6.15)$$

6.7. Ограничение поперечных деформаций трубы на стадии отсыпки и уплотнения боковых призм грунта.

Расчетную нагрузку на трубу от строительных машин и уплотняемого грунта боковых призм следует условно принимать действующей в горизонтальной диаметральной плоскости нормально к поверхности трубы с обеих сторон, равномерно распределенной по длине образующей трубы с интенсивностью:

$$e = 2,5 \times \sqrt{D}, \frac{\text{кгс}}{\text{см}}. \quad (6.16)$$

Интенсивность действующего горизонтального давления  $e$  не должна превышать предельно допустимое на трубу давление, т.е.

$$(6.17)$$

Интенсивность предельно допустимого (из условия деформации номинального диаметра) давления (в кгс/см) следует определять по формуле:

## 7. РАСЧЁТ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБ

### 7.1. Определение продольной силы.

Продольная сила  $N$ , действующая на вертикальные стенки трубы определяется по формуле:

$$N = 0.5 \times (P_v + g) \times (b + h_{\text{ст}}), \quad (7.1)$$

где  $b$  – отверстие трубы в свету, м;

$h_{\text{ст}}$  – толщина стенового элемента, м;

$g$  – собственный вес ригеля на единицу длины трубы, кН/м;

$P_v$  – вертикальное давление засыпки.

### 7.2. Определение изгибающих моментов.

Изгибающие моменты в лотковой, в верхней плите и в боковых (вертикальных) стенках определяются по формулам:

- в лотковой плите:

$$M_1 = 0,2 \times N \times b, \text{ кНм}; \quad (7.2)$$

- в верхней (горизонтальной) плите и боковых (вертикальных) стенках:

$$M_{2,3,4} = \frac{q \times l_i^2}{8}, \text{ кНм}, \quad (7.3)$$

где  $l_i$  – длина элемента (для плиты  $l_i=b$ , для стенки  $l_i=h$ ).

### 7.3. Расчет на прочность продольного сечения трубы.

Назначаем плечо внутренней пары:  $h_0 = 0,9 \times h$ .

Находим требуемую площадь рабочей арматуры в лотковой ( $i=1$ ), в верхней (горизонтальной) плите ( $i=2$ ) и боковых (вертикальных) стенках ( $i=3; 4$ ) по формуле:

$$A_{si} = \frac{M_i}{R_b \times h_0}, \text{ см}^2 \quad (7.4)$$

Задаемся диаметром рабочей арматуры  $d_{si}$  для всех элементов прямоугольной трубы и вычисляем площадь поперечного сечения  $A_{si} = \frac{\pi \times d^2}{4}$ .

Количество стержней определяется по формуле:

$$n_s = \frac{A_{si}}{A_{s1}}, \quad (7.5)$$

Фактическая площадь арматуры:

$$A_{si}^{\text{факт.}} = n_s \times A_{s1}. \quad (7.6)$$

Величина сжатой зоны бетона, вызванная действием изгибающего

момента для всех элементов трубы определяется по формуле:

$$x_i = \frac{R_s \times A_{si}}{(R_b \times b)}. \quad (7.7)$$

Величина сжатой зоны бетона, вызванная действием продольной силы:

$$x_N = \frac{N}{(R_b \times b)}. \quad (7.8)$$

Полная сжатая часть бетона определяется по формуле:

$$\bar{x}_i = x_i + x_N. \quad (7.9)$$

Эксцентриситет определяется по формуле:

$$e_i = \frac{M_i}{N} + 0.5 \times h - a_s, \quad (7.10)$$

где  $a_s = h - h_0$

Предельный изгибающий момент:

$$M_{пр.i} = R_b \times b \times \bar{x}_i \times (h_0 - 0.5 \times \bar{x}_i). \quad (7.11)$$

Условие прочности определяется из неравенства:

$$M_i \leq M_{пр.i}. \quad (7.12)$$

#### 7.4. Расчет по раскрытию трещин.

Расчет по раскрытию трещин выполняется на воздействие нормативного изгибающего момента  $M_i^H$ , вычисленного без учета коэффициента надежности по формулам (7.2 и 7.3).

Плечо внутренней пары  $z = h_0 - \frac{x}{2}$

Напряжение в растянутой арматуре вычисляется по формуле:

$$\sigma_{si} = \frac{M_i^H}{z_i \cdot A_{si}}, \text{ МПа} \quad (7.13)$$

Площадь зоны взаимодействия бетона:

$$A_{zi} = (6 \times d_{si} + a_s) \times b, \text{ см} \quad (7.14)$$

Радиус взаимодействия (армирования):

$$R_{ri} = \frac{A_{zi}}{\sum n_{si} \times d_{si}}, \text{ см} \quad (7.15)$$

Находим коэффициент раскрытия трещин при арматуре периодического профиля:

$$\psi_i = 1,5 \times \sqrt{R_{ri}}, \text{ см} \quad (7.16)$$

Ширина раскрытия трещин вычисляется по формуле:

$$a_{cri} = \frac{\sigma_{si}}{E_s} \times \psi_i, \text{ см} \quad (7.17)$$

При расчёте по раскрытию боковых трещин принимается угол  $\varphi = 45^\circ$ . Его горизонтальная проекция вычисляется по формуле:

(7.18)

Предельное значение поперечной силы вычисляется по формуле:

$$Q_{пр.і} = \frac{1,5 \times R_{bt} \times b \times h_0^2}{c_n} \quad (7.19)$$

Прочность наклонного сечения будет обеспечена, если будет выполняться условие:

(7.20)

Радиус взаимодействия (армирования):

$$R_{ri} = \frac{A_{zi}}{0,7 \times (\sum n_{si} \times d_{si} + \sum [n_n \times d_n])} \quad (7.21)$$

Коэффициент раскрытия трещин при арматуре периодического профиля и ширина раскрытия трещин вычисляются по формулам (7.16) и (7.17):

## 8. ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ТРУБ

8.1. До начала строительства трубы необходимо провести подготовительные и геодезические работы, которые включают:

- установку средств ограждения места производства работ;
- удаление растительности, камней и мусора;
- восстановление оси трассы и разбивку оси трубы с закреплением знаков геодезической основы;
- снятие растительного слоя грунта с вывозом или обвалованием;
- планировку строительной площадки и при необходимости отвод существующего русла или устройство запруды [6].

8.2. Котлованы под трубы должны разрабатываться в полном соответствии с рабочими чертежами, определяющими как их основные размеры, так и объёмы работ. Методы и способы рытья котлованов зависят от гидрологических условий, места строительства трубы, а также от условий строительства и наличия средств механизации.

8.3. Следует учитывать, что котлованы в нескальных грунтах разрабатывают ниже проектной отметки на 0,1...0,2 м. В слабых песчаных грунтах, а также переувлажнённых глинистых грунтах дно котлована следует уплотнять с обязательным втапливанием слоя щебня не менее 0,1 м. Если котлован устраивают в теле насыпи существующего земляного полотна, должно быть предусмотрено специальное крепление, препятствующее обрушению и оползанию откосов разрытия. Окончательную планировку дна котлована и уплотнение грунта выполняют непосредственно перед устройством фундамента.

8.4. Подготовленный котлован должен быть освидетельствован и принят комиссией с участием представителя заказчика. Приемка оформляется специальным актом, в котором должны быть отражены: соответствие расположения, размеров и отметок котлована проекту; фактическое напластование грунтов и их соответствие геологическим разрезам, приведенным в проекте; возможность заложения фундамента трубы на проектной или измененной отметке.

8.5. Нежесткий фундамент под трубы в виде песчано-гравийной или песчано-щебеночной подушки устраивают путем подачи материалов в котлован автомобилями-самосвалами или ковшом, подвешенным на крюке крана. Грунт подушки, укладываемый в котлован, следует разравнивать горизонтальными слоями толщиной не более 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.

8.6. Продольный профиль лотка песчано-гравийной или 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 и втрамбовыванием в грунт основания котлована.

8.7. Монтаж сборных элементов следует начинать, как правило, с выходного оголовка. Вначале устанавливают порталную стенку, затем откосные крылья. После установки всех элементов выходного оголовка приступают к монтажу звеньев трубы. Допускается одновременный монтаж выходного и входного оголовка.

8.8. Технологией работ должна быть предусмотрена заливка швов между блоками цементным раствором с его уплотнением. Необходимо также предусмотреть заполнение зазора между трубой и поверхностью фундамента цементным раствором, законопачивание швов между звеньями. Заключительной операцией является устройство лотков из монолитного бетона в пределах оголовков.

8.9. До засыпки труб грунтом необходимо произвести гидроизоляционные работы, которые выполняют после заполнения зазоров между звеньями в сухую погоду при температуре воздуха не ниже + 5°C.

8.10. Гидроизоляция, в зависимости от метода её нанесения может состоять из слоёв битумной или асбестобитумной мастики на швах (обмазочная гидроизоляция), или по поверхности труб по битумной грунтовке (оклеечная гидроизоляция).

8.11. Технология работ по засыпке труб должна включать 3 этапа:

- заполнение пазух между стенками котлована и фундаментом с трубой грунтом;

- засыпка трубы на высоту звена плюс 2 м (или проектной отметки земляного полотна, когда высота насыпи менее 2 м);

- возведение насыпи над трубой до проектной отметки (выполняет специализированная организация по производству земляных работ) [6].

Для засыпки труб применяют местные хорошо уплотняемые грунты, которые можно использовать для возведения земляного полотна, а при возможности грунты однотипные с грунтом, используемого при возведении насыпи.

8.12. При выполнении укрепительных работ необходимо предусматривать защиту от размыва откосов насыпи у оголовков и русла на подходе и выходе из трубы. Откосы укрепляют сборными плитами или мощением камнем по основанию из песчано-щебёночной смеси (с устройством упора в подошве откоса, а также геосетками). Русла труб укрепляют монолитным бетоном или сборными плитами в направлении от оголовка к полю после укрепления откосной части насыпи.

8.13. После завершения строительных работ проводят уборку строительного мусора и отбракованных элементов. Сворачивают средства ограждения места производства работ.

8.14. При сооружении гофрированных труб необходимо строго следить за тщательным уплотнением подушки, подштыковкой дренирующего грунта засыпки между гофрами, последовательностью обратной засыпки и использованием ручных средств уплотнения на расстоянии не менее 1 м от боковых стенок верха трубы [2, 3].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.05.03-84\*. Мосты и трубы / Минстрой России. – М.: ЦПП, 1996.-214 с.
2. ВСН 176-78. Инструкция по проектированию и постройке металлических гофрированных водопропускных труб. – Москва, 1979.-132с.
3. ДМД 02191.2.016-2008. Рекомендации по проектированию и строительству искусственных сооружений из металлических гофрированных конструкций на автомобильных дорогах общего пользования и улицах (дорогах) населенных пунктов. – Минск.
4. ТУ 5264-003-85599441-08. Трубы сборные из стальных гофрированных листов. – С.-П., 2008.-29с.
5. Лисов В.М. Мосты и трубы /Лисов В.М. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1995.-328 с.
6. Лисов В.М. Дорожные водопропускные трубы /Лисов В.М. -М.: Изд-во ТИМР, 1998.-140 с.
7. ГОСТ Р 52748-2007 Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения и габариты приближения. -М.: Стандартинформ, 2008.-9 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Общие положения по проектированию и расчёту водопроводных труб.....	5
2. Расчетные схемы труб под насыпями дорог.....	8
3. Расчетные давления на элементы труб.....	10
4. Расчёт круглых железобетонных труб.....	12
5. Расчет круглых труб с напрягаемой арматурой.....	15
6. Расчёт металлических гофрированных труб.....	21
7. Расчёт прямоугольных железобетонных труб.....	25
8. Технология строительства труб.....	28
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	30

## **ПРОЕКТ ВОДОПРОПУСКНОЙ ТРУБЫ ПОД НАСЫПЬЮ ДОРОГИ**

*Методические указания  
к выполнению курсового и дипломного проектирования  
для студентов, обучающихся по направлению  
08.03.01 «Строительство»,  
профиль «Автодорожные мосты и тоннели»*

Составители: к.т.н., проф. Ерёмин Владимир Георгиевич,  
к.т.н., доц. Андреев Андрей Владимирович,  
к.т.н., доц. Волокитин Владимир Павлович  
к.т.н., доц. Журавлёв Виктор Аркадьевич.

Подписано в печать \_\_\_\_\_.2015. Формат 60×84 1/16. Уч.-изд. л. 2,0  
Усл.-печ. л. 2,1.

---

Воронежский ГАСУ  
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84